【書類名】明細書

【発明の名称】ソフトウェア生成方法

【技術分野】

【０００１】

本発明は、数学的考え方にたったソフトウェア生成方法に係り、特に、隣接行列、トポロジカル・ソートをＬｙｅｅ方法論に用いたソフトウェア生成方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

（１）ソフトウェア開発の課題

高い品質を持つソフトウェアを容易に迅速に製造することは、ソフトウェア開発研究分野の基本的な関心事である。ソフトウェア開発の生産性、保守性、品質を向上するための種々の方法論および技術が考案され提案されてきたが、いまだにこれらの課題を本質的に解決できたものはない。その理由の１つは、ソフトウェア自身が複雑なものであり、捕らえにくいものであるからであり、もう１つの理由は、現在の方法論に限界があるからである。実際、提案されたほとんどすべての方法論は、明快に理解でき、修正可能なシステムの製造に失敗しているのみならず、それらは、非常に広範囲の能力、技術および知識を持つ専門家にしか利用できないものといまだに見なされている。そのため、人件費や維持費が高いものになり、ソフトウェア上で実行させるためには広範なチェックが必要になる。従来のソフトウェア開発手法の概要と課題をまとめると以下のようになる。

（２）手続き型プログラミング

一般に、手続型プログラミングは、その記述言語の扱いやすさから、業務システム開発とその実装において効果を発してきた。しかし、いまだ要件を正確に実装することの困難性、生産性や保守性の向上という重大な課題が残されている。

（３）宣言型プログラミング

一方、要件定義そのものである宣言によってプログラミングを行う宣言型のプログラミングは、人工知能、エキスパートシステムをはじめ論理的証明（logical reasoning）、推論（inference）、ユーザ情報収集（user intelligence gathering）など、非計算系のアプリケーション分野で使用されている。宣言型プログラミングは、制御手順でなく、

要件定義されているデータ間の関係を宣言し、その宣言に基づいてプログラミングを行うので、そのメリットは、制御手順などの手続きを明示的に指定する必要がある手続き型プログラミングと異なり、要件を正確に実装できるということである。

【０００３】

しかし、宣言型プログラミングにも、実行制御の構造上、実行時の効率が良くないという問題がある。また、宣言型プログラミングを行うための言語は使いこなすのが難しいという欠点がある。宣言型プログラミングを行うための言語には、論理式を用いる論理型言語（たとえばＰＲＯＬＯＧ）や対象の状態を数学的な関数として記述する関数型言語（たとえばＬＩＳＰ）がある。宣言しただけでは値は生成されないから、値を生成するためには、宣言型言語は、宣言を実行するための手続きの論理メカニズムを持っている。これらの手続きの論理メカニズムには、あらゆる宣言を実行できるようにするために多くの条件があり、数学や論理学の知識も必要で、使いこなすのが難しい。このために、プログラミング言語として普及していない。人間の自然言語に近い構造を持つ手続き型言語による、手続き型プログラミングの方が普及しているゆえんである。

（４）オブジェクト指向プログラミング

データとそれを操作する手続き（メソッドと呼ぶ）をオブジェクトと呼ばれるひとまとまりの単位として一体化し、オブジェクトの組み合わせとしてプログラムを記述するプログラミング技法として、オブジェクト指向プログラミングがある。オブジェクトという独立性の高いモジュールによってプログラムが構成されるため、変更・修正の影響の範囲が限定され、またオブジェクトの単位で再利用がしやすくなるなどのメリットがある。

【０００４】

しかし、要件を、どのような単位のオブジェクトによって実装するのか、さらに、構成要素をどのように組み立てるかについては厳格な規則はなく、また、構造化設計アプローチのような実行順序についての規制もない。実際の開発の場においては、オブジェクト間の関係が完全に一貫性を持って適用されず、多くの場合、開発成果物に大量のオブジェクトが生成されていても、作成者自身を除けば誰もそれを理解していないということになる。すなわち、完成したソフトウェアは規則性のない機能のかたまりとなり、最終的に解体したり、再使用したりするのが困難になる傾向が強い。

【特許文献１】

国際公開第９７／１６７８４号パンフレット

【特許文献２】

国際公開第９８／１９２３２号パンフレット

【特許文献３】

国際公開第９９／４９３８７号パンフレット

【特許文献４】

国際公開第００／７９３８５号パンフレット

【特許文献５】

国際公開第０２／４２９０４号パンフレット

【特許文献６】

国際公開第２００４／６８３４２号パンフレット

【特許文献７】

特開２００２－２０２８８３号公報

【非特許文献１】

グリン・ウィンスケル著、「プログラミング言語の公式意味論」、ＭＩＴプレス、１９９３年

【非特許文献２】

ハンネ・リース・ニールソン、フレミング・ニールソン著、「アプリケーションについての 意味論　公式紹介」、ジョン・ワイリー ・アンド・サンズ 、１９９２年

【非特許文献３】

根来　文生著、「Lyee ソフトウェアの原理」、２１世紀（ IS2000）における情報社会についての国際会議会報、日本、会津、２０００年１１月５日-８日、 pp441－446

【非特許文献４】

根来　文生著、「ソースコード生成についての高密度処理方法」、システミクス、サイバネティクス及びインフォマティクスについての第５回世界多極会議会報、（ SCI2001 ）、米国、オーランド、２００１年7月２２日-２５日

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

（1）Ｌｙｅｅ開発方法論

最近、Lyee（ｇｏｖｅｒｎｍｅｎｔａＬ　ｍｅｔｈｏｄｏｌｏｇＹ　ｆｏｒ　ｓｏｆ

ｔｗａｒＥ　ｐｒｏｖｉｄｅｎｃＥの語尾をとったもの。「リー」と読む。発明者は根来文生。）と呼ばれる新しく、非常に有望な方法論が提案された。Lyeeは、要件からソフトウェアを自動的に開発する新しい方法である。

【０００６】

Ｌｙｅｅの場合、宣言型でありながら、宣言を実行するための特別な論理メカニズムを必要とせず、宣言の実行は、手続き型プログラミングと同じく、単純な値の代入という手続きである。従って、使用する言語は一般に普及している手続き型言語でよい。つまり、Lyeeは要件を正確に実装できるという宣言型の利点と、記述が容易な手続き型言語を使用できるという手続き型の利点をあわせ持っているのである。

【０００７】

Ｌｙｅｅ開発方法の概要については、本願の出願人による特願２００４－２７２４００および特許文献６を引用し、これを開示の一部となす。以下に概要を述べる。

（２）Lyeeにおける宣言とは

Lyeeにおいては、宣言する抽象化の対象は変数である。宣言された変数を、Ｌｙｅｅでは単語と呼ぶ。一般的に、仕様が宣言的であるとは、宣言される抽象化の単位は記述の順序性が排除されることと、等式として表現され右辺から左辺、左辺から右辺への双方向性があることである。Lyeeでは、単語は記述の順序性が排除されるが、双方向性をもたず、このことによって、枠組みが簡潔になっている。

【０００８】

単語の宣言の主な要素は、単語名、定義式、定義式の計算条件、入出力属性、値の属性などである。定義式とは、他の単語との関係を示す関係式である。たとえば、単語aは定義式a=b+cのように宣言できる。そして、この宣言の実行は、関係式を代入式として実行するだけである。たとえば、単語aの宣言a=ｂ＋ｃを実行するには（aの値を求めるには）、右辺の変数ｂおよびｃに値を代入すればよい。

（３）手続き型の枠組みで宣言を実行するメカニズム

手続き型言語の枠組みで、実装していながら、宣言の記述の順序性排除を実現しているのは、Ｌｙｅｅが提供する定型構造のプログラム構造である。プログラムを処理するコンピュータが、現在使われている、命令をシーケンシャルに処理するノイマン型である限り、手続き型言語であれば、なんらかの方法で順序性の問題を解決しなければならない。他の宣言型プログラミングは、宣言型言語がそれを解決している。手続き型言語を用いるLyeeは、プログラム構造によって解決している。

【０００９】

そのプログラム構造は、単語単位の宣言を実行する定型構造のモジュール（以下、「宣

言実行モジュール」と呼ぶ。）からなり、それらのモジュールは、パレットと呼ぶ単位で集合化されている。パレット内の、宣言実行モジュールの実行順序は、いかなる配列でもよい。パレット内の実行制御モジュールが、パレット内の全ての宣言実行モジュールの実行が完了するまで（すなわち、値が生成できまるで）宣言実行モジュールの実行を繰り返すよう実行を制御する。

【００１０】

パレットは、入力単語の宣言実行のためのＷ０２パレット、出力単語の宣言のうち計算条件を実行するためのＷ０３パレット、出力単語の宣言のうち定義式実行と出力を実行するためのＷ０４パレットがある。これらの３種類のパレットが１組となって、基本構造という集合単位を成している。すなわち、Lyee構造のプログラムは、基本構造単位に分割され、その基本構造は３種類のパレットに分割され、パレットは宣言実行モジュールに分割される、という構造をとっているのである。基本構造は、出力論理体（すなわち同時に同じ媒体に出力される単語のグループ）の単位につくられる。Lyeeプログラムのこの分割構造を図示したのが、処理経路図（PRD: Process Route Diagram）である。

【００１１】

Ｌｙｅｅによるプログラム全体は、単語単位の宣言を実行する定型構造の宣言実行モジュールによって構成され、しかもそれら宣言実行モジュールでプログラム全体を構成する方法も定型化されている。従って、この定型構造の宣言実行モジュールに、単語単位の要件の宣言を代入すれば、自動的にプログラムを生成することも可能である。

【００１２】

実際、Ｌｙｅｅによるプログラムの自動生成は、「ＬｙｅｅＡＬＬ」と呼ばれるツールによって実現されている。ＬｙｅｅＡＬＬは、いわば、定型構造の宣言実行モジュールのコード（「テンプレート」と呼ぶ。テンプレートはひな形の意。）の所定の空欄に、要件の宣言を自動的に代入し、それらの宣言実行モジュールを所定の方法に従って構成して１つのプログラムを構築するツールである。

【００１３】

Ｌｙｅｅ方法論によるソフトウェア開発では、技術者は２つのグループに分かれ、それぞれ特化した２種類の仕事を行うことになる。１つのチームは、ＯＳ、ミドルウェア、データベースなど、Ｌｙｅｅ構造プログラムが動く外部環境に係わる技術に習熟し、Ｌｙｅｅ構造プログラムのテンプレートに、外部環境ごとのパラメータを設定する。もう１つのチームは、ユーザ要件定義を行い、要件をＬｙｅｅ構造プログラムのテンプレートに実装するために、Ｌｙｅｅ方法論に従った要件の宣言を行う。このような分業制による開発が可能になるため、Ｌｙｅｅ方法論の開発においては、プログラマ全員が広範な外部環境に係わる技術を持つ必要がなく、そのようなスキルを持つ人材不足の問題も解消できる。

（４）従来のLyee構造の課題

上述のように、要件の正確な実装、コード生成の自動化、保守の容易性など、大きなメリットがあるLyee方法論であるが、その繰り返しと分割の構造には課題もある。繰り返し処理のために、実行速度が遅く、分割構造のためにプログラムサイズが大きい、と言われている。

【００１４】

一方、Lyeeでは、基本構造と呼ぶ単位に、要件を分割して仕様を捉える。画面の遷移、データベースのキーの関係などの実行順序に関する明白な情報を単語のグループ（record）を単位として捉え、そのグループに属す単語の実行条件をまとめて把握する。現状のLyee構造は、この分割構造を、そのままコード化しているため、プログラムサイズが大きく、実行速度も遅くなっている。

【００１５】

Ｌｙｅｅ構造を、その宣言的プログラミングの利点をそのままに、要件的意味を変更せずに維持しながら、不要な反復がなく、よりサイズが小さく、効率的処理速度のプログラムに改善することは重要な課題である。

【００１６】

不要な繰り返しをなくして、実行速度の改善をはかる方法としては、トポロジカル・ソートによって、宣言実行モジュールの配置順序を自動的に最適化する（１巡で宣言実行が完了する順序化）方法がすでに提案されている（ＰＣＴ／ＪＰ０３／０９５９１）。パレット内のモジュールにトポロジカル・ソートを行って、パレット内の無駄な繰り返しを排除することができる。

【００１７】

しかし、Lyeeの分割構造の枠組みをそのままにしてトポロジカル・ソートを行っただけでは、その効果には限界がる。なぜなら、パレット間、基本構造間にも繰り返しがあり、パレット内のトポロジカル・ソートによる最適順序化により、繰り返し回数は最小限になるもの、全ての値の生成が１巡では完了しないからである。また、分割構造そのものが、プログラムサイズを大きくしている一因である。

【００１８】

従って、繰り返しと分割の構造を持ったLyeeプログラムのサイズと処理速度の問題を、さらに大きく改善するためには、パレットおよび基本構造という分割単位をなくし、１本のプログラムとして実装する要件の範囲の宣言を実行するモジュールに対してトポロジカル・ソートを行うことが有効と思われる。

【００１９】

本発明は、従来のLyee構造プログラムの分割単位をなくし、プログラム全体に対してトポロジカル・ソートを行う方法に関するものである。これにより、Ｌｙｅｅ方法論によるソフトウェアの実行速度の向上、プログラムサイズの改善を実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００２０】

かかる課題を解決するために本発明は、１つのプログラムとして実装するユーザ要件を、アクセス条件を伴う論理体ごとに、該論理体上の単語ごとに、単語名、定義式、該定義式の実行条件、入出力属性、単語の値の属性によって宣言された単語単位の宣言から、要件充足に必要な全ての、Ｌ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）のいずれかの宣言の実行単位を規定する第１のステップと、

前記に規定された、全てのＬ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）の（半）順序関係を定義する第２のステップと、

前記ステップによって定義された（半）順序関係で規定される前記Ｌ２処理、Ｌ処理、Ｉ２処理、Ｏ４処理に対してトポロジカル・ソートを行う第３のステップと、

前記第３のステップによって並び替えられた宣言の実行単位の順序列にしたがって該宣言実行単位に該当するＬｙｅｅ方法論に基づく所与のコード列を配置する第４のステップと

を具備する。

【００２１】

かかる構成を有する本願発明によれば、第１のステップによって規定された単語単位の宣言を、Ｌ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）、の単位で、最短順序で実行するプログラムが作成されることとなり、Ｌｙｅｅ方法論を用いたソフトウェア生成がより効率化する。つまり、これらの各ステップの機能は総て自動化できるので、結局繰返し処理の排除→ソフトウェア生成まで一貫して自動処理が可能となり、ソフトウェア生産速度、効率は各段に向上する。

【００２２】

ここで、「全てのＬ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）の（半）順序関係を定義する」とは、宣言で用いられる単語に着目して相互の順序関係をたとえば有向グラフで表すことをいう。順序関係としては半順序及び全順序が考えられる。「有向

グラフ」とは、ソフトウェア開発要望者であるユーザの発する要件に含まれるそれぞれの宣言実行単位をノードによって表し、ａ≦ｂ（ａからｂが作られることを意味する記号として「≦」を定義する。以下同じ。）という始点と終点の間の半順序関係（または全順序関係）を矢印によって表したものをいう。例えば、こうした機能をプログラム化したソフトウェアとしてもよいし、或いは当該ソフトウェアをコード化したものをＲＯＭ（ＲｅａｄＯｎｌｙＭｅｍｏｒｙ）に書きこんだものであってもよい。

【００２３】

また、「トポロジカル・ソート」とは、上記で得られた有向グラフに対して（後述の）深さ優先探索を行い、行きついたところから探索経路を戻るときにノードを取得してゆくことでノード列（数列）を整列する機能をいう。例えば、こうした機能をプログラム化したソフトウェアとしてもよいし、或いは当該ソフトウェアをコード化したものをＲＯＭ（ＲｅａｄＯｎｌｙＭｅｍｏｒｙ）に書きこんだものであってもよい。このトポロジカル・ソートに際しては、上記で得られた有向グラフを隣接行列で表し、これに深さ優先探索を行い、零冪行列を生成するように動作させてもよい。

【００２４】

ここで、「深さ優先探索」とは、

（１） 始点であるノードを出発してノード間の連結がとれているノードを訪問が重複しないように進み、

（２） 行く場所がなくなったら行く場所のあるノードまで戻り（再帰）、

（３） 戻ったノードから再び（１）の要領で進み、

（４） 進むところがなくなったら終了する、

というアルゴリズムをいう。

【００２５】

「探索」とは、上記の深さ優先探索（Ｄｅｐｔｈ－Ｆｉｒｓｔ　Ｓｅａｒｃｈ）のほか、幅優先探索（Ｂｒｅａｄｔｈ－Ｆｉｒｓｔ　Ｓｅａｒｃｈ）、反復深化法（Ｉｔｅｒａｔｉｖｅ　Ｄｅｅｐｉｎｇ）、発見的探索（Ｈｅｕｒｉｓｔｉｃ　Ｓｅａｒｃｈ）、ヒル・クライミング（Ｈｉｌｌ　Ｃｌｉｍｂｉｎｇ）、最適優先探索（Ｂｅｓｔ―Ｆｉｒｓｔ　Ｓｅａｒｃｈ）、オイラー（Ｅｕｌｅｒ）の一筆書き、ダイクストラ（Ｄｉｊｋｓｔｒａ）法等を含む各種アルゴリズムをいう。例えば、こうした機能をプログラム化したソフトウェアとしてもよいし、或いは当該ソフトウェアをコード化したものをＲＯＭ（ＲｅａｄＯｎｌｙＭｅｍｏｒｙ）に書きこんだものであってもよい。

【００２６】

また、ここで用いる「ソフトウェア」とは広義の意である。即ち、ユーザからの開発

要望及び当該要望にあった目的プログラムの双方を包含する概念である。

【００２７】

上記のような構成を備えることにより、本願発明では、繰返しを回避するので、より高効率、高速、高パフォーマンスを備えたソフトウェア開発を実現することが可能となる。さらに、繰返しをなくす前処理を自動で行い、こうして得られた前処理済の宣言実行単位のプログラムをもとにＬｙｅｅ（登録商標）方法論により自動的に目的プログラム生成を行う。つまり、ユーザ要件の洗練化（整列）から目的プログラムの生成に至るまで自動化することが可能となる。これにより、ソフトウェア生産の大幅な効率向上、生産性向上、品質向上等、ソフトウェア産業上に大きな効果をもたらす。

【００２８】

本発明の異なる実施体としての「開発対象のソフトウェア」を生産するためのプログラム（ソフトウェア）、プログラム生成装置、プログラム処理装置、ツール（装置として或いはソフトウェアとしての双方を含む）、ソフトウェア開発装置、ソフトウェア開発支援装置、ソフトウェア開発管理装置は、１つのプログラムとして実装するユーザ要件を、アクセス条件を伴う論理体ごとに、該論理体上の単語ごとに、単語名、定義式、該定義式の実行条件、入出力属性、単語の値の属性によって宣言された単語単位の宣言から、要件充足に必要な全ての、Ｌ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）のいずれかの宣言の実行単位を規定する手段と、前記に既定された、全てのＬ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）の（半）順序関係を定義する手段と、前記ステップによって定義された（半）順序関係で規定される前記Ｌ２処理、Ｌ処理、Ｉ２処理、Ｏ４処理に対してトポロジカル・ソートを行う手段と、前記第３のステップによって並び替えられた宣言の実行単位の順序列にしたがって該宣言実行単位に該当するＬｙｅｅ方法論に基づく所与のコード列を配置する手段とを具備するように構成することもできる。

【００２９】

本発明はさらに、上述の「開発対象のソフトウェアを生産する方法」によって生産されたソフトウェア、及び当該ソフトウェアが搭載された記録媒体或いは当該ソフトウェアが搭載された装置（ハードウェア）としても実現されるが、この場合の本発明は、１つのプログラムとして実装するユーザ要件を、アクセス条件を伴う論理体ごとに、該論理体上の単語ごとに、単語名、定義式、該定義式の実行条件、入出力属性、単語の値の属性によって宣言された単語単位の宣言から規定された、要件充足に必要な全ての、Ｌ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）の宣言の実行単位が、単語単位に宣言された要件から定義した（半）順序関係に基づいて行われるトポロジカル・ソートによって並び替えられた順序列にしたがって、該当するＬｙｅｅ方法論に基づく所与のコ

ード列として構成されることもできる。

【００３０】

またさらに本発明は、上述の「開発対象のソフトウェアを生産する方法」によってソフトウェアを生産するために用いられるソフトウェアコードの雛型としてのソフトウェア、及び当該ソフトウェアが搭載された記録媒体或いは当該ソフトウェアが搭載された装置（ハードウェア）としても実現される。

【００３１】

さらに、本発明は、上述の「開発対象のソフトウェアを生産する方法」による、要件から抽出した情報（ドキュメント（紙、データ））の抽出方法として、またかかる抽出方法によって抽出された情報（ドキュメント（紙、データ））として、さらには当該抽出された情報の使用方法として、或いは、これらの情報が搭載された情報記録媒体として、または情報の抽出方法／使用方法がコード化されたソフトウェア、当該ソフトウェアが搭載された記録媒体／装置（ハードウェア）として、いずれも実現することができる関連づける情報とを備えるソフトウェア開発要件から抽出した情報として実現してもよい。

【００３２】

なお、論理体については、同一出願人による特願２００４－２７２４００を参照し、これを引用し、開示の一部とする。

【発明の効果】

【００３３】

本発明によれば、単語単位の宣言実行モジュールからなるプログラムにおける、出力データを生成するための宣言実行モジュールの処理を、無駄な繰り返しを排除して最少実行回数で完了し、かつ、プログラムサイズを小さくすることが可能となる。より具体的には、下記の点が可能になる。

【００３４】

プログラムの要件を単語単位に宣言した宣言から、実行すべき単語単位の宣言実行単位を決定し、それらの単語単位の宣言実行単位の半順序関係を定義することが可能となる。

【００３５】

最適順序化によって不要となる単語単位の宣言実行単位、たとえば経路作用要素は削除する。要件の意味を維持するために実装することが必要な順序情報である経路作用要素の実行条件については、他の単語単位の宣言実行単位の半順序関係定義に反映することによって、要件の意味を保持することができる。

【００３６】

こうして得られた単語単位の宣言実行単位群（経路作用要素を含めない）に対して、トポロジカル・ソートを行って、単語単位の宣言実行単位群を最適順序に並び替える。これにより、無駄な繰返しを回避し、最少実行回数でプログラムを実行することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３７】

本発明は、従来のLyee構造プログラムの分割単位をなくし、プログラム全体に対してトポロジカル・ソートを行うことによって、前述の従来技術の問題を改善するものである。本発明によって、Ｌｙｅｅ方法論によって開発されるソフトウェアの実行速度の向上、プログラムサイズの改善を実現する。以下、図面を参照しながら、本願の発明の具体的な実施形態について説明する。Lyee構造プログラムに対してトポロジカル・ソートを行う技術については同一出願人による特許文献６を引用し、これを開示の一部となす。

【００３８】

Ｉ章では、本発明の統合の対象であるLyeeソフトウェアの分割構造がどのようなものか、概要を説明する。ＩＩ章では、基本構造を統合する具体的な方法を述べる。ＩＩＩ章では、本発明を用いて基本構造を統合するプログラムの事例とその効果を述べる。

＜Ｉ章　Lyeeソフトウェアの分割構造のしくみ＞

分割構造をもった従来のLyee構造プログラムを統合するためには、まず、その分割構造のしくみについて理解する必要がある。基本構造への分割は、単語がどのようなグループ単位にどのような条件で出力されるべきなのか、という要件を捉えて宣言したものである。単語単位の宣言の要素に入出力属性という項目があったが、入出力の区別の他に、各単語がどの入力または出力グループ（論理体）に属するのか、その入出力グループがどのような条件で入出力されるのか、も宣言されるべき要件である。様々な処理を表わす要件定義から、この入出力に関する要件情報を、どのように正確に取り出すかについての詳細は、同一出願人による特願２００４－２７２４００を引用しこれを開示の一部とする。ここでは、基本構造への分割の意味について、本発明の説明に必要と思われる概要のみを述べる。

１．基本構造への分割の意味

分割構造の意味

Lyeeソフトウェアの分割構造は、最小単位のモジュールである宣言実行モジュールが、一定の規則に従って、グループ化されている、という構造である。その構造を、図１（a）及び（b）に示す。

１）同期範囲

プログラムを構成するモジュールは、まず、図１（a）で「同期範囲」と示した単位にグループ化されている。同期範囲とは、ユーザによるプログラムへの処理実行指示であるイベント（たとえばボタンを押す、メニューを選択する、などのコマンド）によって、コンピュータが実行するように要件で定められているひとまとまりの処理の範囲のことである。言い換えれば、同期範囲とは、同じイベントを実行条件として実行されるモジュールのグループである。Ｌｙｅｅでは、この同期範囲の処理が完了することを「同期」と呼ぶ。同期範囲の処理が完了するとは、イベントに対して要件で定められている出力単語の生成と出力を全て完了することである。

２）基本構造

次に、同期範囲内のモジュールは、図１（a）の１０１に示すように、基本構造単位にグループ化されている。コンピュータの入出力処理は、データ単位ではなく、データの集合単位に行われるが、同時に同一の定義体に対して入力または出力処理される単語の集合をＬｙｅｅでは論理体と呼んでいる。論理体とは、画面、ファイル、帳票、電文など、単語の値を保持する単位である。同一の出力論理体に関与するモジュールをグループ化したものが基本構造である。プログラムの役割は、ユーザによるイベントが指定する出力単語の値を生成、出力することであるが、１つのイベントによる同期範囲の中で行う出力は１つとは限らない。単語の値の生成結果を画面に表示（出力）する以外に、生成結果をファイルへ保存（出力）する、などのように、多くの場合、１つの同期範囲内で２つ以上の出力論理体が出力され、同期範囲は複数の基本構造にグループ化される。

３）パレット

最後に、基本構造内のモジュールは、その種類別に３つにグループ化される。基本構造内のモジュールのグループを、Ｌｙｅｅではパレットと呼んでいる。３つのパレットを、それぞれW02パレット、W03パレット、W04パレットと呼ぶ。W02パレットは、入力単語の入力にかかわるモジュールの集合である。W03パレットは出力単語の定義式の計算条件の判定にかかわるモジュールの集合である。W04パレットは出力単語の定義式の実行による値の生成と、値の出力にかかわるモジュールの集合である。

【００３９】

次に基本構造の実行順序について説明する。

１）同じ同期範囲内

基本構造間には端点始点関係がある。従って、深さ優先探索で次に実行すべき基本構造が決まる。同じ同期範囲内の宣言実行モジュールに対してトポロジカルソートを実行すれば実行順序が決まる。

２）同期範囲の実行順序

どの同期範囲が実行されるかは、どのイベントがユーザによって発せられたかによる。たとえば、画面に処理Ａを実行するボタンと、処理Ｂを実行するボタンがあり、ユーザ

がこれらのボタンのいずれか１つを押下することによって、プログラムが実行する処理内容（すなわち、同期範囲）が決定する。このように、プログラム全体は、異なるイベントを実行条件にする複数の同期範囲によって構成されているので、プログラム全体の宣言実行モジュールに対して、単純にトポロジカルソートを行うことができない。ＩＩ章で、２つのイベントによる２つの同期範囲を持つ仕様を例に用いて、異なる同期範囲の宣言実行モジュールに対して統合してトポロジカルソートを行う方法を説明する。

２．トポロジカルソートの対象

トポロジカルソートによって最適順序化する、その対象は、Lyeeソフトウェアの構成要素である宣言実行モジュールが実行している処理である。宣言実行モジュールは、２つの種類があり、１つは論理要素で、単語の値を成立させるためのモジュールである。もう１つは作用要素で、入出力処理など、値の成立以外の処理を行うモジュールである。

【００４０】

同一出願人による特許文献６は、値を成立させる論理要素を有向グラフおよび隣接行列の要素として取扱い、数学的モデルによって表わし、トポロジカルソートの実施形態を開示している。作用要素も、論理要素と同じく、有向グラフおよび隣接行列の要素として取扱うことができ、トポロジカルソートの対象とすることができる。論理要素と作用要素の大きな違いは、論理要素は１つの単語のみに作用（値の生成という作用）するが、作用要素は同時に２つ以上の単語に対して作用する点だけである。たとえば、経路作用要素（次に実行する基本構造を指定する）は、基本構造という単語の集合に対して作用し、出力作用要素（出力単語を出力する）は、出力論理体という単語の集合に対して作用する。

【００４１】

以下に、宣言実行モジュールを順次考察しながら、トポロジカルソートの対象にする方法を述べる。

「論理要素」

『Ｌ２』

Ｌ２は、入力単語の属性が要件に合致するかのチェックを行う宣言実行モジュールである。いかなる条件下にあっても、Ｌ２の処理が実行できる条件は、入力単語の値が、媒体からメモリ領域内に取り込まれている（入力済みである）ことである。従って、トポロジカルソートの対象とするＬ２処理は、始点がＬ２の値の入力を行うＩ２だと考えれば良い。

【００４２】

イベントのコマンド（ボタンやメニュー）も入力単語の１つとして扱う。

【００４３】

『Ｌ３およびＬ４』

現状のLyeeソフトウェア構造では、出力単語の生成処理は、Ｌ３（計算条件式の実行）とＬ４（定義式の実行）の２つのモジュールによって実現している。さらに、出力単語ａが複数の定義式を持つ場合（このような場合の単語を等価単語と呼ぶ）は、定義式と計算条件の組の数だけ、Ｌ３およびＬ４を設ける。

【００４４】

出力単語ａが複数の定義式を持ち（このような場合の単語を等価単語と呼ぶ）、下記のように宣言されているとする。

【００４５】

＜定義式＞　　＜計算条件＞

（１）ｂ＋ｃ　　ｅ＞１０

（２）ｂ－ｄ　　ｅ≦１０

等価単語は複数の定義式を持っているが、出力単語に必ず１つだけ値が与えられなければならない。従って、等価単語の定義式の計算条件は、排他的かつ完備でなければならない。

【００４６】

いかなる条件下にあっても、単語ａの生成処理が実行できる条件は、単語ａの全ての定義式と計算条件式に用いられている全ての始点単語、が決定ずみであれば良い。すなわち、トポロジカルソートの対象は、単語ｂ、ｃ、ｄ、ｅの定義式が先に実行されていれば良い。

【００４７】

従って、トポロジカルソートの対象となるのは、出力単語ごとの、Ｌ３およびＬ４処理の組の全てで、始点は、それらの定義式と計算条件に始点として用いられている入力単語のＬ２処理、および、出力単語のＬ４とＬ３処理の組である。

「作用要素」

『入力作用要素Ｉ２』

Ｉ２は、媒体からメモリ内へ値を取り込む（入力）処理を行うモジュールである。従って、いかなる条件下においても、Ｉ２の処理が実行できる条件は、無条件である（すなわち、他の処理に依存しない）。トポロジカルソートの対象となるＩ２処理は、始点をもたない。（ただし、ファイルからの入力の場合は、ファイルにアクセスするための

キーとなるキー単語の値が成立している必要がある）

『出力作用要素Ｏ４』

Ｏ４は、Lyeeソフトウェア領域からメモリ上の出力バッファへ単語の値を書き込む（出力）処理を行うモジュールである。従って、いかなる条件下においても、Ｏ４の処理が実行できる条件は、出力対象の出力単語の、値が成立済み（すなわち、１つのＬ４が実行済み）であることである。トポロジカルソートの対象となるＯ４処理は、始点が出力対象の出力単語だと見なせる。

【００４８】

『構造作用要素Ｓ４』

Ｓ４は、単語の値を記録する領域と、処理の結果（たとえば、出力が正常に完了した、出力が正常に完了しなかったなど）を記録する領域を初期化（初期値を記録する）する処理を行うモジュールである。従来の繰り返し構造をもつLyeeにおける、単語の値の領域への上書き禁止と初期化は、繰り返し構造のメカニズムのための手段であった。従って、プログラム全体にトポロジカルソートを行って、最適順序化したLyee構造においては、単語の値の領域の初期化は不要となる。

【００４９】

一方、処理結果の記録領域の初期化は、繰り返し構造のメカニズムのための処理ではないので、統合Lyee構造にも必要な処理である。

【００５０】

『経路作用要素』

経路作用要素は、次に実行するパレットを指定する処理を行うモジュールである。経路作用要素は、プログラムの分割単位である、パレット、およびそのパレットの集合である基本構造を、リンクする役割を果たしている。

【００５１】

〈基本構造内のパレット間遷移を行う経路作用要素〉

〈基本構造間の遷移を行う経路作用要素〉

以下に例を上げて、基本構造から別の基本構造の実行を指定する経路作用要素の意味を説明する。

（例１）

図２は、あるシステムの画面で、ユーザがデータ項目ｃおよびデータ項目ｄにデータを入力して実行ボタンのａまたはｂを押すことによって、データ項目ｇに値を得るため

のシステムである。７０１はデータ項目ｃの入力データフィールド、７０２はデータ項目ｄの入力データフィールド、７０３はデータ項目ｇの出力データフィールド、７０４は実行ボタンａ、７０５は実行ボタンｂである。実行ボタンａが押されるときは、ｇの値は定義式ｃ＋ｄで計算され、実行ボタンｂが押されるときは、ｇの値は定義式ｃ×ｄによって計算される。実行ボタンのａおよびｂは、両方が同時に押されることはないので、ｇの値の生成のための２つの定義式のどちらが実行されるかの条件となっている。

【００５２】

図２の画面のプログラムを、基本構造の分割単位に表すと図３のようになる。図３のＢＳ１、ＢＳ２、ＢＳ３はそれぞれ基本構造である。基本構造ＢＳ１は、図２に示した画面への出力論理体の基本構造である。ＢＳ１は、実行ボタンである入力単語ａと入力単語ｂ、入力データ項目である入力単語ｂと入力単語ｃ、出力データ項目である出力単語ｇ、経路作用要素X_rを含んでいる。

【００５３】

基本構造ＢＳ２は、実行ボタンａが押されたとき、出力データ項目ｇの値を式ｃ＋ｄによって計算するための基本構造（媒体がファイル）である。式ｃ＋ｄの結果を記録する単語ｅを含んでいる。基本構造ＢＳ３は実行ボタンｂが押されたとき、出力データ項目ｇの値を式ｃ×ｄによって計算するための基本構造（媒体がファイル）である。式ｃ×ｄの計算結果を記録する単語ｆを含んでいる。

【００５４】

画面にユーザがデータを入力した（ＢＳ１が実行された）後に、出力単語ｇの値を計算するための基本構造はＢＳ２またはＢＳ３であるが、どちらが実行されるべきかを指定するのが経路作用要素X_rである。２つの基本構造に所属する単語は、それぞれボタンａとｂのどちらが押されたかによって実行が決まるので、経路作用要素X_rは、実行ボタンａが押された場合（単語ａ＝真、値がある）はＢＳ２を、実行ボタンｂが押された場合（単語ｂ＝真、値がある）はＢＳ３を、次に実行する基本構造として指定する。また、実行が次の基本構造に移るのは入力データがそろったときであるので、単語ｃおよび単語ｄに値があることも、経路作用要素X_rの実行条件となる。

【００５５】

基本構造ＢＳ２またはＢＳ３の実行によって、出力単語ｇの値が単語ｅまたは単語ｆに成立する。出力データを画面に出力するための基本構造ＢＳ１の出力単語ｇは、単語ｅに値が成立したとき（ｅ＝真）はｇ＝ｅ、単語ｆに値が成立したとき（ｆ＝真）はｇ＝f、と定義される。

【００５６】

上記のような単語の定義を整理すると下記の表１のとおりである

【００５７】

【表１】

単語	入出力属性	定義式	定義式実行条件
a	入力	－	－
b	入力	－	－
c	入力	－	－
d	入力	－	－
x_r	（経路作用要素）	ＢＳ２を指定	（１） ａ＝真（ボタンａが押され、ａに値がある）かつ、ｃ＝真およびｄ＝真
		ＢＳ３を指定	（２） ｂ＝真（ボタンｂが押され、ｂに値がある）かつ、ｃ＝真およびｄ＝真
e	出力	ｃ＋ｄ	X_rがＢＳ２を指定
f	出力	ｄ×ｄ	X_rがＢＳ３を指定
g	出力	e	ｅ＝真（ｅに値がある）
		f	ｆ＝真（ｆに値がある）

『制御モジュール』

従来のLyee構造は、分割構造があり、分割単位に繰り返し処理が行われていたために、パレット内の各モジュールをコールして実行させるパレット関数（パレットの数だけ設置）と、それらのパレット関数自体をコールして実行させるパレット連鎖関数（プログラムに１つ）、の２種類の制御モジュールが必要であった。

【００５８】

トポロジカルソート後は、プログラム全体が統合され、順序化されるので、プログラム全体に１つ、プログラム内のモジュールをコールする制御モジュールがあれば良い。

ＩＩ章　基本構造の統合とトポロジカルソート

例１の要件を用いて、トポロジカルソートの具体的手順を説明する。

１．基本構造の隣接行列

図４は、図３の単語の関係を有向グラフによって示した図である。基本構造ＢＳ１に属する入力単語である単語a、単語ｂ、単語ｃ、単語ｄは、有向グラフによって表される単語のネットワークの最端始点となる。同じく基本構造ＢＳ１に属する経路作用要素である単語X_rは、上記表１に示したとおり、値が成立（次に実行する基本構造決定の真偽判定が成立）するためには、単語aまたは単語ｂと単語ｃと単語ｄが必要であるので、これらの４つの単語を始点とする矢印によって４つの単語とリンクされる。基本構造ＢＳ２に属す単語ｅ、および、基本構造ＢＳ３に属す単語fは、値が成立するために、単語

c、単語dおよび単語X_rが必要であるので、これらの３つの単語を始点とする矢印によって各々３つの単語とリンクされる。基本構造ＢＳ１に属す出力単語ｇは、値が成立するために、単語ｅまたは中間単語ｆが必要であるので、これらの２つの単語を始点とする矢印によって２つの単語とリンクされる。

【００５９】

次に、図４で有向グラフで示した例１のシステムを隣接行列を用いて表す。最初に図４の、入力単語を扱った基本構造ＢＳ１（９０１）を表した隣接行列Ｆ１を下記の数１に示す。

基本構造ＢＳ１（入力単語）の隣接行列

【００６０】

【数１】

$$Fl = \begin{array}{c} \\ a \\ b \\ c \\ d \\ x_r \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} a & b & c & d & x_r \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

ＢＳ１（入力単語）の要素は単語ａ、単語ｂ、単語ｃ、単語ｄ、単語x_rであるから、Ｆ１の行列はこれらの要素によって構成される。入力単語である単語ａ、単語ｂ、単語ｃ、単語ｄは、始点単語を持たないので、終点単語a、ｂ、ｃ、ｄのそれぞれの横列（始点単語ａ、ｂ、ｃ、ｄ、x_rとの交点）は総て始点単語として用いないことを示す「０」となる。経路作用要素である単語x_rは、図４の有向グラフに示したとおり、始点として単語a、単語ｂ、単語ｃ、単語ｄを持つので、終点単語x_rの横列は、これらの始点単語との交点は始点であることを示す「１」となる。

【００６１】

次に、基本構造ＢＳ２およびＢＳ３（以下、基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３と記す）を合わせたものを表す隣接行列Ｆ２を下記の数２に示す。

基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３の隣接行列

【００６２】

【数２】

$$F2 = \begin{array}{c} \\ e \\ f \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} e & f \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

ＢＳ２＆ＢＳ３の要素は単語ｅと単語ｆのみであるので、Ｆ２の行列はこれら２つの要素で構成される。単語ｅと単語ｆはお互いに独立している（すなわち、どちらの単語も始点単語としてもう一方の単語を用いていない）ので、いずれの交点も「０」となる。

【００６３】

基本構造ＢＳ１の出力単語を扱った集合の隣接行列Ｆ３を、下記の数３に示す。

基本構造ＢＳ１（出力単語）の隣接行列

【００６４】

【数３】

$$F3 = \begin{array}{c} \\ g \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} g \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

ＢＳ３の要素は単語ｇのみであるので、Ｆ３の行列は単語ｇ１つのみで構成される。単語ｇは始点として自身を用いないので、交点は「０」となる。

【００６５】

以上で、例１のシステムを構成する基本構造単位に、同一基本構造内の要素間の関係を隣接行列に表した。

２．結合隣接行列による基本構造の統合

次に、これらをシステム全体として１つの隣接行列として表すために、各基本構造の要素である単語と他の基本構造の要素である単語との関係を示すことによって基本構造をリンクする結合隣接行列（connection matrix）について説明する。

【００６６】

任意の基本構造の単語と他の基本構造の単語の関係は、図４に示したように終点単語と始点単語の関係によって表わされている。基本構造同士は、それに属する単語の関係によってリンクされていると言える。図４から以下のことが分かる。

１）基本構造ＢＳ１（入力）の単語を終点単語としたとき、いずれの他の基本構造の単語も、ＢＳ１（入力）の単語より後に現れるので、始点単語となりえない。

２）基本構造ＢＳ２＆３の単語を終点単語としたとき、ＢＳ２＆３の単語より前に現れ

るＢＳ１（入力）の単語は始点単語となりえるが、ＢＳ１（出力）の単語は始点単語となりえない。

３）基本構造ＢＳ１（出力）の単語を終点単語としたとき、ＢＳ２＆３およびＢＳ１（入力）のいずれの単語も、ＢＳ１（出力）の単語より前に現れるので、始点単語となりえる。

【００６７】

上記の考察の結果、基本構造をリンクするための結合隣接行列として重要なのは、任意の基本構造と、それに属す単語の始点単語になりえる単語を含む基本構造との関係を表す結合隣接行列であることがわかる。なぜなら、有向グラフで示されるように、単語間の関係は始点単語から終点単語へと向かう関係のみが存在するがゆえに、基本構造間の関係も、それと同様に始点単語を含む基本構造から終点単語を含む基本構造へと向かう関係のみが存在し、逆の関係は存在しない（そのような基本構造間の関係を表す結合隣接行列は、すべての交点が０となる）からである。

【００６８】

以下に、例１の基本構造をリンクする（始点単語を含む基本構造から終点単語を含む基本構造へと向かう関係を表す）結合隣接行列を１つづつ考察する。

【００６９】

数４は、基本構造ＢＳ１（入力）（始点単語）から基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３（終点単語）への関係を示す結合隣接行列ＦＣ１である。

【００７０】

【数４】

$$FCI = \begin{array}{c} \\ e \\ f \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} a & b & c & d & x_r \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

隣接行列ＦＣ１は、基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３の要素である単語ｅと単語ｆを終点単語においたとき、ＢＳ１（入力）の要素である単語ａ、単語ｂ、単語ｃ、単語ｄ、単語x_rが始点単語として用いられる状態を表し、２つの基本構造の関係を示している。図４で示したように、単語ｅおよび単語ｆは、は単語ｃ、単語ｄ、単語x_rを始点単語に用いる。従って、ＦＣ１において、終点単語ｅおよび終点単語ｆの行と、始点単語ｃ、ｄ、x_rとの交点は「１」となり、その他の始点単語との交点は「０」となる。

【００７１】

数５は、基本構造ＢＳ１（入力）および基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３（始点単語）から、基本構造ＢＳ１（出力）（終点単語）への関係を示す隣接行列ＦＣ２を表している。

【００７２】

【数５】

$$FC2 = g\begin{bmatrix} a & b & c & d & e & f \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

隣接行列ＦＣ２は、基本構造ＢＳ１（出力）の要素である単語ｇを終点単語においたとき、有向グラフにそれ以前に現われるＢＳ１（入力）、ＢＳ２、ＢＳ３の要素である単語ａ、単語ｂ、単語ｃ、単語ｄ、単語x_r単語ｅ、単語ｆ、が始点単語として用いられる状態を表して、２つのグループの関係を表している。図４で示したように、単語ｇは、単語ｅと単語ｆを始点単語に用いる。従って、ＦＣ２において、終点単語ｇの行と、始点単語ｅおよびｆとの交点は「１」となり、その他の始点単語との交点は「０」となる。

【００７３】

以上が、例１のシステムを構成する基本構造間のリンクに意味を持つ結合隣接行列であった。システム全体として１つの隣接行列へ統合する過程の説明を簡便にするために、下記に、関係が存在しない基本構造間の結合隣接行列も示す。数６は、基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３（始点単語）から基本構造ＢＳ１（入力）（終点単語）の関係がないことを示す結合隣接行列ＦＣ３である。

【００７４】

【数６】

$$FC3 = \begin{array}{c} \\ a \\ b \\ c \\ d \\ x_r \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} e & f \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

数７は、基本構造ＢＳ１（出力）（始点単語）から基本構造ＢＳ１（入力）（終点単語）の関係がないことを示す結合隣接行列ＦＣ４である。

【００７５】

【数７】

$$FC4 = \begin{array}{c} \\ a \\ b \\ c \\ d \\ x_r \end{array} \begin{array}{c} g \\ \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array}\right] \end{array}$$

数８は、基本構造ＢＳ１（出力）（始点単語）から基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３（終点単語）の関係がないことを示す結合隣接行列ＦＣ５である。

【００７６】

【数８】

$$FC5 = \begin{array}{c} \\ e \\ f \end{array} \begin{array}{c} g \\ \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array}\right] \end{array}$$

上記に示した隣接行列Ｆ１からＦ３、結合隣接行列ＦＣ１からＦＣ５を用いて、例１のシステムを１つの隣接行列Ｆとして表したものが数９である。

【００７７】

【数９】

$$F=\begin{bmatrix} F1 & 0 & 0 \\ FC1 & F2 & 0 \\ FC2 & & F3 \end{bmatrix}=\begin{array}{c} \\ a \\ b \\ c \\ d \\ x_r \\ e \\ f \\ g \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccccc} a & b & c & d & x_r & e & f & g \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

上記数式で、「Ｆ＝」の右辺に示された、Ｆ１、Ｆ２、Ｆ３、ＦＣ１、ＦＣ２と０（行列の交点が総て０である隣接行列で、ＦＣ３、ＦＣ４、ＦＣ５に相当する）で構成された行列は、基本構造単位の隣接行列と結合隣接行列がどのように統合されてシステム全体を表わすかを示している。次に、それらの要素を単語に変えたものが、その右辺にあるａ、ｂ、ｃ、ｄ、ｘ$_r$、ｅ、ｆ、ｇを行列の要素とする隣接行列である。Ｆ１、Ｆ２、Ｆ３、ＦＣ１、ＦＣ２、ＦＣ３、ＦＣ４、ＦＣ５がどのように統合されてＦを構成するのか、さらにわかりやすく示したのが図５である。図５の１００１の部分がＦ１、１００２がＦ２、１００３がＦ３、１００４がＦＣ１、１００５がＦＣ２である。行列の交点が総て０である結合隣接行列は、ＦＣ３が１００６、ＦＣ４が１００７、ＦＣ５が１００８を構成する。

【００７８】

以上のようにして、２つ以上の基本構造から成る１つのシステムは、１つの隣接行列で表すことができる。

【００７９】

以上でシステム全体を１つの隣接行列で表わすことができたので、このシステムの隣接行列に対して、同一出願人による特許文献６で開示されるトポロジカルソートを行って、総ての単語の値の状態が最少実行回数で確定（すなわち総ての出力単語の生成が完了）するような最適順序に単語単位のプログラムの並び替えを行う。

【００８０】

例１のシステムの隣接行列Ｆをみれば、図６に示すように、値が１である始点単語と

の交点は総て左下三角形（１３０１）の内にある。Ｉ章で述べたように、これは単語が最適順序に並んでいることを意味する。従って、数９の隣接行列Ｆは、すでにトポロジカルソート済みであって、初期値の単語の状態ベクトルを与えれば、最少実行回数で出力単語の生成を完了することができる単語の順序になっているといえる。

【００８１】

ここで、トポロジカルソートを施す効果について補足する。トポロジカルソートによって最適実行順序に並んだ単語単位のプログラムは、１巡処理で総ての出力単語の値を生成することができる。しかし、システム全体に対して言及する場合には、より正確には「最少実行回数」で実現できるということが適切である。なぜなら、システム全体でみたときには、集計処理のように、一時的記録領域を置くことによって同じ計算式を繰り返し利用する必要がある処理を含む場合があるからである。もちろん、この場合の「繰り返し」は、無駄な繰り返しではない。集計するデータの数マイナス１が最少繰り返し数になる。このような集計処理も、結合隣接行列を用いて１つの隣接行列に表わすことができる。

【００８２】

なお、ここでは探索技法の一例としてトポロジカル・ソートを例にとり説明したが、他の探索の技法を用いても良い。また、隣接行列定義については、本稿では理解の容易さを助けるために入れたが、本質的には必須のステップではない。つまり、隣接行列を定義することなく、宣言間関係の規定から、直接に、或いは有向グラフ作成を介して、トポロジカル・ソート等の探索に至ることも本発明の思想の範囲内であり、本発明の目的とするところを実現し得る。

３．プログラムの隣接行列の検証

本セクションでは、前セクションで示したシステムの隣接行列Ｆが、出力単語の値を生成する関数として機能し、しかも、トポロジカル・ソート済みであるので、最少実行回数で総ての出力単語の生成を完了できることを、同一出願人による特許文献６で開示される単語の状態ベクトルをかける計算操作によって検証する。出力単語ｇの値が決定されれば、隣接行列Ｆは関数として機能すると言える。また、例５のシステムは、前述の集計処理のような繰り返し処理を含まないので、１巡処理で出力単語ｇの値の状態が確定すれば、最少実行回数で処理が完了したと言える。

【００８３】

例１のシステムにおいて、ユーザが入力を行う前の単語の値の状態、すなわち単語の状態ベクトルＸの初期値は、同一出願人による特許文献６で開示されるように総ての要素が「null（未決定）」で、下記の数１０のようになる。

【００８４】
【数１０】

$$X = \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ x_r \\ e \\ f \\ g \end{matrix} \begin{bmatrix} \text{null} \\ \text{null} \\ \text{null} \\ \text{null} \\ \text{null} \\ \text{null} \\ \text{null} \\ \text{null} \end{bmatrix}$$

数９の隣接行列Ｆ（すなわち例１のシステム）に、数１０の状態ベクトルＸをかける計算処理を施す（すなわち、例１のシステムに入力を行う）。ＦＸの計算処理によって変化する単語の値の状態を１つの終点単語ごとに追って説明する。

（１）１巡目処理中の終点単語ａの計算

１巡目処理中の終点単語ａの計算は、次のようになる。

a ＝0･null＋0･null＋0･null ＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

入力単語aは始点単語を持たないので、どのような値の状態をかけても値の状態が確定し、nullから(+1)へ変化する。すなわち、これは入力によって値が確定したことを表わしている。その結果、１巡処理中の単語ａ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表２のとおりである。

【００８５】

【表２】

	a	b	c	d	x_r	e	f	g
値の状態	+1	null	null	null	null	null	null	null

（２） １巡目処理中の終点単語ｂの計算

１巡目処理中の終点単語ｂの計算は、表２の単語の値の状態を用いるので次のようになる。

ｂ ＝0･(+1)＋0･null＋0･null ＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

入力単語ｂも始点単語を持たないので、どのような値の状態をかけても値の状態が確定し、nullから(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語ｂ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表３のとおりである。

【００８６】

【表３】

	a	b	c	d	x_r	e	f	g
値の状態	+1	+1	null	null	null	null	null	null

例１のシステムでは、単語ａと単語ｂは画面上の２者択一の指示ボタンであるので、どちらか一方が選択されることによって、双方の値の状態が確定することになる。

（３） １巡目処理中の終点単語ｃの計算

１巡目処理中の終点単語ｃの計算は、表３の単語の値の状態を用いるので次のようになる。

ｃ ＝0･(+1)＋0･(+1)＋0･null ＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

入力単語ｃも始点単語を持たないので、どのような値の状態をかけても値の状態が確定し、nullから(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語ｃ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表４のとおりである。

【００８７】

【表４】

	a	b	c	d	x_r	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	null	null	null	null	null

（４） １巡目処理中の終点単語ｄの計算

１巡目処理中の終点単語ｄの計算は、表４の単語の値の状態を用いるので次のようになる。

$$d = 0\cdot(+1)+0\cdot(+1)+0\cdot(+1)+0\cdot\mathrm{null}+0\cdot\mathrm{null}+0\cdot\mathrm{null}+0\cdot\mathrm{null}+0\cdot\mathrm{null}$$

$$= (+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)$$

$$= (+1)$$

入力単語ｄも始点単語を持たないので、どのような値の状態をかけても値の状態が確定し、nullから(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語ｄ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表５のとおりである。

【００８８】

【表５】

	a	b	c	d	x_r	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	+1	null	null	null	null

（５） １巡目処理中の終点単語x_rの計算

１巡目処理中の終点単語x_rの計算は、表５の単語の値の状態を用いるので次のようになる。

$$x_r = 1\cdot(+1)+1\cdot(+1)+1\cdot(+1)+1\cdot(+1)+0\cdot\mathrm{null}+0\cdot\mathrm{null}+0\cdot\mathrm{null}+0\cdot\mathrm{null}$$

$$= (+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)$$

$$= (+1)$$

単語x_rの始点単語となる単語ａ、ｂ、ｃ、ｄの値の状態がすでに確定した、すなわち、表１に示した経路作用要素である単語x_rの定義式実行条件（１）および（２）が満たされたので、単語x_rの値の状態もnullから確定済みの(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語x_r行完了後の各単語の値の状態は、以下の表６のとおりである。

【００８９】

【表６】

	a	b	c	d	x_r	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	+1	+1	null	null	null

（６） １巡目処理中の終点単語ｅの計算

１巡目処理中の終点単語ｅの計算は、表６の単語の値の状態を用いるので次のようになる。

ｅ ＝0･(+1)＋0･(+1)＋1･(+1) ＋1･(+1)＋1･(+1)＋0･null＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

単語ｅの始点単語となる単語ｃ、ｄおよびx_rの値の状態がすでに確定済みであるので、すなわち、定義式ｃ＋ｄの始点単語の値が決定済み、かつ経路作用要素x_rが次に実行する基本構造を指定したので、単語ｅの値の状態もnullから確定済み(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語ｅ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表７のとおりである。

【００９０】

【表７】

	a	b	c	d	x_r	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	+1	+1	+1	null	null

（７） １巡目処理中の終点単語ｆの計算

１巡目処理中の終点単語ｆの計算は、表７の単語の値の状態を用いるので次のようになる。

ｆ ＝0･(+1)＋0･(+1)＋1･(+1) ＋1･(+1)＋1･(+1)＋0･(+1)＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

単語ｆの始点単語となる単語ｃ、ｄおよびx_rの値の状態がすでに確定済みであるので、単語ｆの値の状態もnullから(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語ｆ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表８のとおりである。

【００９１】

【表８】

	a	b	c	d	x_r	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	null

例１のシステムでは、単語ｅと単語ｆはそれぞれの実行条件が２者択一の条件であるので、どちらか一方の条件が真と確定すれば、他方の条件は偽と確定し、双方の値の状態が確定することになる。たとえば、ＢＳ２が指定されれば、単語ｅの定義式実行条件＝真が確定して単語ｅに値が与えられることによって値の状態が確定する。一方、単語

ｆは、定義式実行条件＝偽が確定して単語ｆに値が与えられないことによって値の状態が確定する。従って、経路作用要素がどちらか一方の基本構造を指定したとき、単語ｅも単語ｆも値の状態が確定済みとなるのである。

（８）１巡目処理中の終点単語ｇの計算

１巡目処理中の終点単語ｇの計算は、表８の単語の値の状態を用いるので次のようになる。

$$g = 0\cdot(+1)+0\cdot(+1)+0\cdot(+1)+0\cdot(+1)+0\cdot(+1)+1\cdot(+1)+1\cdot(+1)+0\cdot\mathrm{null}$$

$$=(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)$$

$$=(+1)$$

単語ｇの始点単語となる単語ｅおよびｆの値の状態がすでに確定済みであるので、単語ｇの値の状態もnullから(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語ｇ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表９のとおりである。

【００９２】

【表９】

	a	b	c	d	x_r	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

以上で隣接行列Ｆの総ての単語行の計算処理が１巡したことになる。従って、表９がＦＸの結果となる。下記の数１１の状態ベクトルX_1がＦＸの結果である。

【００９３】

【数１１】

$$X_1 = \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ x_r \\ e \\ f \\ g \end{matrix} \begin{bmatrix} +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \end{bmatrix}$$

以上のように、隣接行列Ｆは、トポロジカルソートによって単語単位プログラムが最適順序で実行されるように並んでいるので、１巡の計算処理の実行で総ての単語の値の状態が確定し、出力単語ｇの値を成立することができた。

４．経路作用要素の排除

経路作用要素の実行条件は、経路作用要素によって指定される基本構造に属する全単語の集合（１つ以上からなる）の定義式を実行するための条件と等しい。なぜなら、その基本構造の単語の総ては、その経路作用要素の条件が満されたときに実行されるからである。従って、経路作用要素の実行条件は、経路作用要素によって指定される基本構造に属す単語の条件に移すことができる。

【００９４】

例１のシステムの場合で具体的に述べると次のようになる。まず、経路作用要素である単語ｘ$_r$と、単語ｅおよび単語ｆの定義式と定義式実行条件は下記の表１０の通りであった。

【００９５】

【表１０】

単語	定義式	定義式実行条件
x_r	ＢＳ２を指定	（１）ａ＝真（ボタンａが押され、ａに値がある）かつ、ｃ＝真およびｄ＝真
	ＢＳ３を指定	（２）ｂ＝真（ボタンｂが押され、ｂに値がある）かつ、ｃ＝真およびｄ＝真
ｅ	ｃ＋ｄ	X_rがＢＳ２を指定
ｆ	ｄ×ｄ	X_rがＢＳ３を指定

従って、X_rの条件（１）「ａ＝真かつ、ｃ＝真およびｄ＝真」を、この条件が成立するとき指定する基本構造ＢＳ２に属する単語ｅの実行条件「ＸｒがＢＳ２を指定」と置き換え、条件（２）「ｂ＝真かつ、ｃ＝真およびｄ＝真」をこの条件が成立するとき指定する基本構造ＢＳ３に属する単語ｆの実行条件「ＸｒがＢＳ３を指定」と置き換える、ということになる。この結果、単語ｅおよび単語ｆの定義式、定義式実行条件は下記の表１１のようになる。

【００９６】

【表１１】

単語	定義式	定義式実行条件
ｅ	ｃ＋ｄ	ａ＝真（ボタンａが押され、ａに値がある）かつ、ｃ＝真およびｄ＝真
ｆ	ｃ×ｄ	ｂ＝真（ボタンｂが押され、ｂに値がある）かつ、ｃ＝真およびｄ＝真

表１１のように、経路作用要素の実行条件を、指定先の基本構造の単語の実行条件に置き換えると、ＢＳ１とＢＳ２およびＢＳ３のリンクは、ＢＳ２およびＢＳ３の単語の実行条件によって成立するので、経路作用要素は単に、次の基本構造の実行に移る条件が整ったこと（入力単語ｃおよびｄに値があり、かつボタンａまたはｂが押された）を示すだけの意味しか持たなくなる。これは、経路作用要素を取り除いてもシステムの意味に変化が生じないことを意味する。従って、経路作用要素の実行条件を、その条件の成立によって指定される基本構造の単語の実行条件に置き換える操作を行った後、システム全体の隣接行列から、経路作用要素を除くことができる。

【００９７】

図７は、経路作用要素を取り除いて、例１のシステムの単語の関係を有向グラフで表したものである。図７では、経路作用要素である単語x_rがなくなり、単語eおよび単語ｆと始点単語との関係は、上記の表１１で定義された定義式と定義式実行条件に従って示されている。すなわち、単語ｅは、始点単語として単語a（定義式実行条件「実行ボタンａが押された」）、単語ｃおよび単語ｄ（定義式「ｃ＋ｄ」および、定義式実行条件

「ｃ＝真およびｄ＝真」）を持つ。単語ｆは、始点単語として単語ｂ（定義式実行条件「実行ボタンｂが押された」）、単語ｃおよび単語ｄ（定義式「ｃ＋ｄ」および、定義式実行条件「ｃ＝真およびｄ＝真」）を持つ。単語ｅおよび単語ｆから単語ｇへの関係は図４と変らない。

【００９８】

経路作用要素を取り除いた例１のシステムを、図７の有向グラフに従って隣接行列に表わせば、以下のようになる。数１２のＦ１'は、基本構造ＢＳ１（入力）の隣接行列である。経路作用要素である単語x_rが要素から削除されている。

【００９９】

【数１２】

$$FI' = \begin{array}{c} \\ a \\ b \\ c \\ d \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} a & b & c & d \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

数１３のＦ２'は、基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３の隣接行列である。

【０１００】

【数１３】

$$F2' = \begin{array}{c} \\ e \\ f \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} e & f \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

数１４のＦ３'は、基本構造ＢＳ１（出力）の隣接行列である。

【０１０１】

【数１４】

$$F3' = \begin{array}{c} g \\ \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

数１５のＦＣ１'は、基本構造ＢＳ１（入力）から基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３への関係を示す結合隣接行列である。経路作用要素が削除されたので、始点単語の要素として単語X_rが削除されている。単語ｅおよび単語ｆは、表１１に示したように経路作用要素の実行条件を移したことで、それぞれ新たに単語ａ、単語ｂを始点単語として持つことになった。従って、終点単語ｅは、始点単語ｃおよびｄの他に単語ａとの交点が１となっている。終点単語ｆは、始点単語ｃおよびｄの他に単語ｂとの交点が１となっている。

【０１０２】

【数１５】

$$FC1' = \begin{array}{c} \\ e \\ f \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} a & b & c & d \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

数１６のＦＣ２’は、基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３から基本構造ＢＳ１（出力）への関係を示す結合隣接行列である。経路作用要素が削除されたので、始点単語の要素として単語X_rが削除されている。

【０１０３】

【数１６】

$$FC2' = \begin{matrix} g \end{matrix} \begin{matrix} a & b & c & d & e & f \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

数１７のＦＣ３’は、基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３から基本構造ＢＳ１（入力）への関係がないことを示す結合隣接行列である。経路作用要素が削除されたので、始点単語の要素として単語X_rが削除されている。

【０１０４】

【数１７】

$$FC3' = \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} \begin{matrix} e & f \end{matrix} \left[\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right]$$

数１８のＦＣ４’は、基本構造ＢＳ１（出力）から基本構造ＢＳ１（入力）への関係がないことを示す結合隣接行列である。経路作用要素が削除されたので、始点単語の要素として単語X_rが削除されている。

【０１０５】

【数１８】

$$FC4' = \begin{matrix} \\ a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} \begin{matrix} g \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

数１９のＦＣ５’は、基本構造ＢＳ１（出力）から基本構造ＢＳ２＆ＢＳ３への関係がないことを示す結合隣接行列である。

【０１０６】

【数１９】

$$FC5' = \begin{matrix} \\ e \\ f \end{matrix} \begin{matrix} g \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

システムの隣接行列Ｆは、経路作用要素の条件の置き換えと経路作用要素の削除を行うと、下記の数２０に示す隣接行列Ｆ’で表わすことができる。

【０１０７】

【数２０】

$$F' = \begin{bmatrix} F1' & 0 & 0 \\ FC1' & F2' & 0 \\ FC2' & & F3' \end{bmatrix} = \begin{array}{c} \\ a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} a & b & c & d & e & f & g \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

上記数式で、「Ｆ’＝」の右辺に示された、Ｆ１’、Ｆ２’、Ｆ３’、ＦＣ１’、ＦＣ２’と０（行列の交点が総て０である隣接行列で、ＦＣ３’、ＦＣ４’、ＦＣ５’に相当する）で構成された行列は、基本構造単位の隣接行列と結合隣接行列がどのように統合されてシステム全体を表わすかを示している。次に、それらの要素を単語に変えたものが、その右辺にあるａ、ｂ、ｃ、ｄ、ｅ、ｆ、ｇを行列の要素とする隣接行列である。Ｆ１’、Ｆ２’、Ｆ３’、ＦＣ１’、ＦＣ２’、ＦＣ３’、ＦＣ４’、ＦＣ５’がどのように統合されてＦ’を構成するのか、さらにわかりやすく示したのが図８である。図８の１２０１の部分がＦ１’、１２０２がＦ２’、１２０３がＦ３’、１２０４がＦＣ１’、１２０５がＦＣ２’である。行列の交点が総て０である結合隣接行列は、ＦＣ３’が１２０６、ＦＣ４’が１２０７、ＦＣ５’が１２０８を構成する。

【０１０８】

以上のようにして、２つ以上の基本構造から成る１つのシステムを、経路作用要素を排除して、１つの隣接行列で表わすことができる。

【０１０９】

次に、このシステムの隣接行列に対して、トポロジカルソートを行って、総ての単語の値の状態が最少実行回数で確定（すなわち総ての出力単語の生成が完了）するような最適順序に単語単位のプログラムの並び替えを行う。隣接行列Ｆ’をみると、図９に示すように、値が１である始点単語との交点は総て左下三角形（１６０１）内にある。同一出願人による特許文献５で示されるように、これは単語が最適順序に並んでいることを意味する。従って、数２０の隣接行列Ｆ’は、すでにトポロジカルソート済みであって、初期値の単語の状態ベクトルを与えれば、最少実行回数で出力単語の生成を完了することができる単語の順序になっているといえる。

５．経路作用要素を排除した構造の検証

このセクションでは、前セクションで示した、経路作用要素を排除したシステムの構造を示す隣接行列Ｆ’が、経路作用要素を排除する前の構造である隣接行列Ｆと同じ関数機能を持つことを検証する。以下に、隣接行列Ｆ’に単語の状態ベクトルを与えて出力単語ｇの値を求める過程を示す。ｍ回目の計算処理の結果、単語の状態ベクトルX_mの値が総て確定済みとなれば、Ｆ’もＦと同等に機能する関数だと言える。また、トポロジカルソートを施したことによって、最少実行回数で出力単語の生成を完了できることも検証する。例１のシステムであるＦ’も、1巡処理で単語ｇの値の状態が確定すれば、最少実行回数で実行できたと言える。

【０１１０】

前述したように、単語の状態ベクトルの初期値は総ての要素が「null（未決定）」であるので、Ｆ’に最初に与えるべき単語の状態ベクトルX’は下記の数２１のようになる。

【０１１１】

【数２１】

$$X' = \begin{bmatrix} a & \text{null} \\ b & \text{null} \\ c & \text{null} \\ d & \text{null} \\ e & \text{null} \\ f & \text{null} \\ g & \text{null} \end{bmatrix}$$

数２０の隣接行列Ｆ’（すなわち例１のシステム）に、数２０の状態ベクトルX’をかける計算処理を施す（すなわち、例１のシステムに入力を行う）。Ｆ’X’の計算処理によって変化する単語の値の状態を１つの終点単語ごとに追って説明する。

（１）Ｆ’１巡目処理中の終点単語ａの計算

終点単語ａは、計算処理にX'の単語の値の状態を用いるので、１巡目処理中の終点単語ａの計算は、次のようになる。

a ＝0･null＋0･null＋0･null ＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

入力単語aは始点単語を持たないので、値の状態が確定し、nullから(+1)へ変化する。すなわち、これは入力によって値が確定したことを表わしている。その結果、１巡処理中の単語ａ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表１２のとおりである。

【０１１２】

【表１２】

	a	b	c	d	e	f	g
値の状態	+1	null	null	null	null	null	null

（２） F'１巡目処理中の終点単語ｂの計算

終点単語ｂは、計算処理に表１２の単語の値の状態を用いるので、１巡目処理中の終点単語ｂの計算は、次のようになる。

b ＝0･(+1)＋0･null＋0･null ＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

入力単語ｂも始点単語を持たないので、値の状態が確定し、nullから(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語ａ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表１３のとおりである。

【０１１３】

【表１３】

	a	b	c	d	e	f	g
値の状態	+1	+1	null	null	null	null	null

（３） F'１巡目処理中の終点単語ｃの計算

終点単語ｃは、計算処理に表１３の単語の値の状態を用いるので、１巡目処理中の終点単語ｃの計算は、次のようになる。

ｃ ＝0･(+1)＋0･(+1)＋0･null ＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

入力単語ｃも始点単語を持たないので、値の状態が確定し、nullから(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語ｃ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表１４のとおりである。

【０１１４】

【表１４】

	a	b	c	d	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	null	null	null	null

（４） F’１巡目処理中の終点単語ｄの計算

終点単語ｄは、計算処理に表１４の単語の値の状態を用いるので、１巡目処理中の終点単語ｄの計算は、次のようになる。

ｄ ＝0･(+1)＋0･(+1)＋0･(+1) ＋0･null＋0･null＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

入力単語ｄも始点単語を持たないので、値の状態が確定し、nullから(+1)へ変化する。その結果、１巡処理中の単語ｄ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表１５のとおりである。

【０１１５】

【表１５】

	a	b	c	d	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	+1	null	null	null

（５） F’１巡目処理中の終点単語ｅの計算

終点単語ｅは、計算処理に表１５の単語の値の状態を用いるので、１巡目処理中の終点単語ｅの計算は、次のようになる。

ｅ ＝1･(+1)＋0･(+1)＋1･(+1) ＋1･(+1)＋0･null＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

単語ｅの始点単語である単語ａ、ｃ、ｄの値の状態が確定しているので、単語ｅの値の状態もnullから(+1)へ変化して確定する。その結果、１巡処理中の単語ｅ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表１６のとおりである。

【０１１６】

【表１６】

	a	b	c	d	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	+1	+1	null	null

（６） F’１巡目処理中の終点単語ｆの計算

終点単語ｆは、計算処理に表１６の単語の値の状態を用いるので、１巡目処理中の終点単語ｆの計算は、次のようになる。

ｆ ＝0･(+1)＋1･(+1)＋1･(+1) ＋1･(+1)＋0･(+1)＋0･null＋0･null

＝(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1) ＋(+1)

＝(+1)

単語ｆの始点単語である単語ｂ、ｃ、ｄの値の状態が確定しているので、単語ｆの値の状態もnullから(+1)へ変化して確定する。その結果、１巡処理中の単語ｆ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表１７のとおりである。

【０１１７】

【表１７】

	a	b	c	d	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	+1	+1	+1	null

（７） F’１巡目処理中の終点単語ｇの計算

終点単語ｇは、計算処理に表１７の単語の値の状態を用いるので、１巡目処理中の終

点単語ｇの計算は、次のようになる。

$$g = 0\cdot(+1)+0\cdot(+1)+0\cdot(+1)+0\cdot(+1)+1\cdot(+1)+1\cdot(+1)+0\cdot\mathrm{null}$$

$$= (+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)+(+1)$$

$$= (+1)$$

単語ｇの始点単語である単語ｅ、ｆの値の状態が確定しているので、単語ｇの値の状態もnullから(+1)へ変化して確定する。その結果、１巡処理中の単語ｇ行完了後の各単語の値の状態は、以下の表１８のとおりである。

【０１１８】

【表１８】

	a	b	c	d	e	f	g
値の状態	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

以上で隣接行列Ｆ'の総ての単語行の計算処理が１巡したことになる。従って、表１８の単語の値の状態がＦ'Ｘ'の結果となる。下記の数２２の状態ベクトルX'_1がＦ'Ｘ'の結果である。

【０１１９】

【数２２】

$$X'_1 = \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \end{matrix}\begin{bmatrix} +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \end{bmatrix}$$

以上のように、隣接行列Ｆ'は、トポロジカルソートによって単語単位プログラムが最適順序で実行されるように並んでいるので、１巡の計算処理の実行で総ての単語値が確定し、出力単語ｇの値を成立することができた。

【０１２０】

また、経路作用要素の単語を除いた隣接行列Ｆ'も、状態ベクトルの初期値を与える（入力を行う）ことで、隣接行列Ｆと同様に総ての単語の値の状態が確定し、出力単語ｇの値が生成できたことがわかる。従って、経路作用要素のあるシステムである隣接行列Ｆと、経路作用要素のないシステムである隣接行列Ｆ'は、システムとして同等の処理機能を持つことが検証できた。

【０１２１】

上記で述べたように、全体システムが複数の基本構造を有する場合に、これを統合し、さらに当該統合されたものに対して（例えばトポロジカルソートのような）探索を施すことで、Ｌｙｅｅ（登録商標）等のソフトウェアの自律的開発技術の適用に際して各段のパフォーマンスを提供する。これが例えば、統合されずに複数の基本構造をそのまま有する場合には、本願に係る発明によるほどのパフォーマンスは得られず、また、トポロジカルソート等の探索技法によって整序しなかった場合には本願に係る発明によるほどのパフォーマンスは得られない。

６．プログラムの再利用

プログラムの再利用が必要な処理は、トポロジカルソートを行っても繰り返しが行われる。

どんなプログラム（アルゴリズム）でも再帰的な方法だけによって記述することができる。手続き型のプログラミング言語（例えば、Ｃ、 java など）によって書かれたどんなプログラムでも、再帰プログラムと同じ役割を果たすwhileプログラムによって書くことができる。このことは、whileプログラムは理論的には、なんでもできることを示している。

しかしながら、 単語を基礎とするプログラム法では、自分自身を始点単語として使用することができない。例えば、$a = a + b$を 単語を基礎とする プログラムでは使うことはできない。なぜなら、aは、一度決定(decided)になるとaの値は変化しないからである。したがって、再帰的使用のためには、一時的にaの値を保持する領域とクリアする方法が必要となる。保持された値を始点として使用する。この目的のために一時的に内容が保持される領域を持つことが必要である。この領域を一時的な単語と呼ぶ。クリアするために構造作用要素(Vector of Clear)が定義される。

Lyeeでは一般に、作用要素は述語構造を持つ一種の単語である。プログラムコードの構造は単語と同じである。単語との主な相違は同時にふたつあるいはもっと多くの単語を扱っていることである。その意味は外部とのインターフェースおよび制御構造のため

の経路や領域のクリアである。

【０１２２】

プログラムの隣接行列（プログラム全体の行列）は分割された隣接行列とただ状態を移すだけの接続行列とを使って、１つの行列に統合化される。接続行列は、他のグループ上の単語を始点単語として使うことを示している。したがって、単語を基礎とするプログラムの数学的なモデルを使うことが可能である。それによって、手続き型の言語で表現することができるすべての通常のアルゴリズムは、単語を基礎とするプログラムの構造で表現することができる。

【０１２３】

次に、前述のa=a+bのような、一時的な単語を必要とする集計処理の例である(例２)を用いて、接続行列による隣接行列の統合を説明する。

（例２）ファイルのある単語のそれぞれのレコードx_2、x_6の値は先頭から順番に合計し、集計結果を単語x_3、x_7に集計する。

【０１２４】

Lyeeでは、一度決定した値は上書きできないので、$x_3=x_1+x_2$のように記述しこれを再利用する。x_1は前回のx_3の値を代入するための単語である。x_3の値は、次の再利用時にx_1に代入するために、一時的な領域x_4に転送される。「一時的な単語」と呼ぶ。この例２を有向グラフに表すと図１０に示すようになる。単語x_1、x_2、x_3は、x_3がx_4に転送されたときにクリアされる。単語x_5、単語x_6、単語x_7は、それぞれ単語x_1、単語x_2、単語x_7の再使用である。

【０１２５】

図１０の再使用されるプログラムの部分の隣接行列(one path matrix)は以下に示す*F1*である。

【０１２６】

【数２３】

$$F1 = \begin{array}{c} \\ x_{1,5} \\ x_{2,6} \\ x_{3,7} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} x_{1,5} & x_{2,6} & x_{3,7} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array} : \text{one path matrix}$$

*F1*を再利用するため、*F1*と再利用された*F1*とを統合する接続行列(connection matrix)が*F2* と *F3*である。これらは状態を伝達するだけの機能を有するものである。それぞれの終点単語が、始点単語としてどの単語を使用するかを示す。

【０１２７】

【数２４】

$$F2 = \begin{array}{c} \\ x_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} x_1 & x_2 & x_3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} : \text{connection matrix from } x_1, x_2, x_3 \text{ to } x_4$$

$$F3 = \begin{array}{c} \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} x_4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{array} : \text{connection matrix from } x_4 \text{ to } x_5, x_6, x_7$$

*F2*は x_1, x_2, x_3 からx_4. への接続行列である。*F3* は x_4 から x_5, x_6, x_7 への接続行列である。*F2*はx_3 からx_4. への出力、*F3*はx_4からx_5. への入力、のための作用要素として理解される。*F1*を再利用する全体プログラムの隣接行列が*F*である。

【０１２８】

【数２５】

$$F = \begin{array}{c} \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array} : \text{entire system matrix}$$

全体プログラムの隣接行列は一巡行列と接続行列とを使って表現される。したがって、単語を基礎とするプログラムの数学的なモデルを使うことが可能である。それによって、手続き型の言語で表現されることができるすべての通常のアルゴリズムは、単語に基礎とするプログラミングによって、その構造で実現することができる。

ＩＩＩ章　本発明を用いた具体例

＜トポロジカルソートの数学的アルゴリズム＞

具体的方法を示す前に、半順序集合の元を要素とする配列が与えられたとき、それをトポロジカルソートするひとつのアルゴリズムを示す。

Lyeeの仕様を単語の系で表現すると、Lyeeにおける仕様は以下のように表現される。

$$x = F(x) \qquad \text{(式2-1-3)}$$

ここで、汎関数Fは以下で定義されたものである。

$$F(x)(i) = f_i(x(1), x(2), \ldots, x(n)),\ i = 1, 2, \ldots, n \qquad \text{(式2-1-2)}$$

順序集合（A, ≤）の空でない部分集合Bが≤の下で全順序集合であるときBを鎖といい、Bのどの２元も比較不能であるときBを反鎖という。1回の反復処理で、右辺の始点が定義されている数以上の端点が定義されるため、Fは単調である。したがってFを繰り返すことによって、次々に生成される反復列

【０１２９】

【数２６】

$$(F^{k})_{k \in N}$$

は鎖である。ここで、kは反復の回数である。最小の反復の回数は最大の鎖のサイズである。一般に、以下の定理によって、半順序集合は、反鎖に分割できる。

[定理]

半順序集合（A, ≤）の最大の鎖のサイズをｎとすると、Aはｎ個の互いに素な反鎖に分割される。

この定理は、数学的帰納法によって証明される。この定理を半順序集合である全単語に適用すると、以下のことが言える。すなわち、全単語は、その中では順序がないｎ個の単語の集合に分割される。反復列（数２６）の長さ（サイズ）ｎは単語の始点と端点の関係から求まる鎖のうち最大のもの、すなわち、同期するまでに必要な最小の反復回数を示す。

この定理の証明は、半順序集合の元を要素とする配列が与えられたとき、それをトポロジカルソートするひとつのアルゴリズムを与えている。すなわち、Anを反鎖とすると、入力側から、A1, A2, を$A_{n+1}=0$となるまで次々と求め、A_nの元を適当な順序で並べ、その後にA_{n-1}の元を適当な順序で並べ、最後にA_1の元を適当な順序で並べれば、昇順にトポロジカルソートできる。ここでA_nは極大元の集合である。ここでは、すなわち、出力側に一番近い単語の集合である。このように並べた単語はA_1（入力側）から実行すれば、１度の処理で、すべての単語が次々と成立する。

１．分割構造を統合する方法

基本構造を１つとし、単語の並べ替えを行う。この方法によって生成されるプログラムは以下の構造を持つ。

1) 値の生成のためのW04論理要素はW03へ置く。

2) W03論理要素とW04論理要素とを統合した単語とする。等価単語はひとつの単語に統合したものとする。

3) スタート画面のW04にすべての基本構造上の単語を置く。このとき、経路の作用要素

についている実行条件はそれぞれの単語に展開する。経路の作用要素は、展開しない。

4) すべての単語と入出力作用要素に対して、その始点と基本要素との関係を有向グラフ(Directed Graph)で表現し、上記の方法で、トポロジカルソートして順序を決め配置する。パレット内の反復は不要となるため設置しない。パレット領域のクリアも、不要となり、設置しない。

5) Control Areaのフラグ、入出力の作用要素のフラグは、クリアが必要であり、そのまま置く。

この結果、

1) 同じ基本構造に属していた単語と入出力作用要素は、その基本構造の経路作用要素についていた実行条件が等しく展開されるので、同一の実行条件を持ち、従って、ソート後もひとまとまりのグループを作り出す。

2) 結果的に、経路の実行条件により、基本要素が再グループ化され、そのグループの中では、基本要素は上から実行順に並ぶ。

２．事例の仕様

この例題の要件は、生徒の成績管理システムの事例である。このシステムでは、総務担当者が生徒の名前を登録し、先生が生徒のテストごとの点数を登録、学期末には総合評価を登録することができる。このシステムは、図１１に示す「初期画面」、図１２に示す「生徒登録画面」、図１３に示す「成績管理画面」の３つの画面と、管理者と先生のIDとパスワードが登録された「ID&パスワードファイル」、生徒の名前やIDが登録されている「生徒名ファイル」、生徒別テストごとの点数が登録されている「テスト別成績ファイル」、生徒ごとの学期末総合評価が登録されている「総合評価ファイル」、の４つのファイルから構成されている。

初期画面は、成績管理システムを起動したときに表示される画面である。Exitボタンを押すとシステムは終了する。IDとパスワードのフィールドに入力して、OKボタンを押すと、システムは、入力されたデータとID&パスワードファイルに登録されているデータを参照（読み込み）し、入力されたデータが総務担当者のものか、先生のものか、あるいは、そのいずれでもないか、を判定する。判定の結果、IDとパスワードが管理者のものならば、生徒登録画面を表示、先生のものなら成績管理画面を表示、いずれのものでもない場合は、初期画面を表示する。

【０１３０】

生徒登録画面は、総務担当者が生徒名、生徒ID番号を登録する画面である。初期画面で判定したIDとパスワードが、総務担当者のものであった場合に表示される画面で、表示のときには、システムは、生徒名ファイルを参照して、すでに登録済みである生徒のデータを生徒一覧のフィールドに表示する。画面が表示された後、新規登録のフィールドに生徒名と生徒ID番号を入力し、登録ボタンを押すと、入力したデータが生徒名ファ

イルに登録（書き込み）される。戻るボタンを押すと、初期画面に戻ることができる。

【０１３１】

成績管理画面は、生徒のテストごとの点数と総合評価の登録、参照を行う画面である。初期画面で判定したIDとパスワードが先生のものであったとき表示される。画面表示のときには、システムは、生徒名ファイルを参照して、アクセスしている先生が担当する生徒名と生徒ID番号の一覧を、生徒名のテキストボックスに表示可能な選択候補リストとして用意する。総務担当者が、テキストボックスの右端のボタンを押して、生徒名リストを表示させ、参照したい生徒名とID番号を選択（入力）すると、システムはテスト別成績ファイルを参照して、入力された生徒のテスト結果と、テスト結果の平均点を計算して表示する。総合評価がすでに登録されている場合は、同時に、総合評価ファイルを参照して、総合評価を表示する。新たなテスト結果を登録するときには、テスト結果登録フィールドに、選択されている生徒のデータを入力し、登録ボタンを押す。システムは、新規データをテスト別成績ファイルに登録し、同時に、テスト結果フィールドの内容を新規データも含めた内容に更新して表示し、平均点も再計算して表示する。総合評価を登録するときには、総合評価登録フィールドに、選択されている生徒の総合評価を入力し、登録ボタンを押す。システムは、総合評価のデータを総合評価ファイルに登録し、同時に、総合評価フィールドに登録したデータを表示する。戻るボタンを押すと、初期画面に戻ることができる。

この成績管理プログラムの要件、および、このプログラムを、従来の基本構造に分割した構造にする場合の構造を表わした処理経路図を図１４に示す。

1人の学生に対して試験別成績の一覧を表示するような、同じ処理の部分的繰り返しや、平均点の算出のための、集計計算を含んでおり、上に述べた基本的な的な処理を網羅している。

3. 事例の実装手順

使用言語は、C++、画面部のみC++の機能を用い、残りは、Cの文法のみで記述している。データベース・マネージメントシステムは、Access 97 with DOA である。

設計時、９基本構造に分割した要件を1基本構造のプログラムに統合した形で、実装した。プログラムの生成は、LyeeALL2（Lyee構造プログラムのコード自動生成ツール）を用い、そのテンプレート（基本要素および制御プログラムの雛形）を基本構造統合型Lyeeプログラム用に製作変更して、コード自動生成した。図１５は、統合型新プログラムコードの一部である。新プログラムの7行目は、経路の実行条件、すなわちプロセス定義における実行条件であり、基本要素はこれによって再びグループ化している。W02 パレットにあった基本要素は、ソート後の順序に並んでいる。単語は、11,12,13,14行のように生成式のみが残る。

基本構造を分割した状態で生成したLyee構造のプログラムと、Lyee方法論による新プログラムと比較すると以下の通りである。この実行ステップ数と時間は、「7人の学生か

らひとりを選び、5試験の成績を表示させる」という要件のプログラムのときのものである。CPUプロセス時間はデータベースのアクセス時間を含まない値、Totalプロセス時間はデータベースのアクセス時間を含む全時間である。処理時間は、プログラムにタイムスタンプの機能を付加し、開始、終了との差として求めた。

4. 結果と評価

1）結果

【０１３２】

【表１９】

	従来Lyee構造プログラム	本発明適用Lyeeプログラム	
プログラム行数	213,559 行	6,889 行	３１％
CPUプロセス時間	150 msec	25 msec	１５％
総プロセス時間	470 msec	345 msec	７３％

実行コードの減少は主に、単語の構造が小さくなったことと、基本構造が１つになったことによる。主な変化点は、

１．述語構造はおおよそ２１行から成る。これが、通常、代入式１行から成る生成式のみとなる。

２．W03の生成条件とW04の生成式とは１つに統合される。

３．作用要素については、経路の作用要素は一つのIF文となる。入出力の作用要素はほぼそのまま残る。

４．８０％のクリアの作用要素は取り除かれる。

５．一つの基本構造は単語や作用要素を除いて約２４KBを必要とする。この事例では、９個の基本構造が１つになる。

【０１３３】

実行ステップ数の減少と実行時間の減少は主に繰り返しが減ったことによる。主な変化点は、

１．すべてのパレットは最低２回繰り返され、基本構造は最低３回繰り返される。これが、１回になる。

２．プログラム・コードは、３１％に削減される。

３．しかし全プロセス時間は、それほど減少しない。データベースのアクセス時間が支配的であるためである。

４．データベース処理を用いないリアルタイム処理、たとえばビル監視システムのようなプロセス制御では、ＣＰＵ時間が支配的である。従って、新方法は、プログラムの大きさ、処理時間とも、プロセス制御の場合に効果が大きい。

２）評価

従来の構造型プログラミングによるプログラムと比較すると、以下のことが、言えるであろう。現時点で、この仕様に基づく従来の構造型プログラミングによるプログラムは、課題を残すものであり、また、従来法はプログラマの技量によるため、定性的比較に留める。

１）プログラムの設計

単語の実行条件は、プロセス定義のアクションの実行条件として、捉えることができ、従来のLyeeにおける設計上の困難が減少する。Lyeeの利点である、宣言的に仕様を捉えることは、新プログラムではプロセス定義と単語の定義で実現される。従って、新プログラムでは、プロセス定義によって制御のための手続きが実現されるため、プログラムの設計は必要ない。従来法では、仕様を基に何らかの設計が必要である。

２）プログラムのサイズ

従来の構造型プログラミングによるプログラムと比較し、新プログラムにおいて、構造上明らかに増加しているコードは、ない。

３）実行速度

新プログラムでは、繰り返しの回数は必要最小な数に限られるため、従来型プログラムに比べて実行速度が遅くなる理由はない。

ＩＶ章　むすび

現状では、Lyee方法論に基づくツールによって生成されるプログラムは、設計時点で分割した仕様を、分割した状態でプログラムモジュールに展開したものである。確かに、要件に明白に表されている順序に関する情報を設計に活用することは、設計の精度をあげ、効率化に役立つ。しかし、Lyee構造のプログラムは、実行前に、静的に解決できる問題点を、実行時点で動的に解決しているため、コードのサイズは大きく、処理速度も遅い。ここに改善の余地がある。設計の効率化の効果を生かしつつ、プログラムの意味を変えずに、初めから基本構造に分割せずに、プログラムを生成することが出来る。そうすることによって、単語全体は１つの領域となる。したがって、単語の関係が作り出す有向グラフ上のトポロジカルソートで、単語全体の正しい順序が決定されると、順序性を確保するための繰り返しは不要となる（特許文献６参照）。

したがって、処理経路図を作成すること、すなわち要件を分割してとらえることは、システムの要件を正確にとらえるために非常に有用である。処理経路図を作成することは、出力条件に共通要素を持つ単語を論理体の単位でとらえることである。条件の共通要素を経路作用要素に割り当てることは、効率的にユーザ要件を定義するためには大きなメリットがある。

【０１３４】

一方、プログラムのコードを生成し、実行する時点では、基本構造に分割したシステムを統合することが有用である。なぜなら、システム全体の単語単位のプログラムの実行順序を、最少実行回数で出力単語の生成を完了できる順序に並べることができるから

である。

【０１３５】

本明細書では、単語単位の宣言実行モジュールからなるシステムにおける、出力データを生成するための宣言実行モジュールの処理を、無駄な繰り返しを排除して最少実行回数で完了し、かつ、プログラムサイズを小さくすることを課題として、以下の手段で解決することについて述べた。

１）同じ出力条件を持つ単語の集合（論理体）を、１つの基本構造として、システム全体を処理経路図でとらえる。これによって、同じ基本構造に属する宣言実行に共通する実行条件（経路作用要素がその基本構造を指定する条件）を的確にとらえることができる。
２）経路作用要素もトポロジカルソートの対象とし、単語の関係を定義している論理要素と同じく、その要件を単語の関係で定義する。すなわち、どのような条件が成立したとき（定義式の実行条件)、どの基本構造の実行を指定するか（定義式)、を定義する。
３）この経路作用要素の定義式実行条件を、その条件が成立するときに経路作用要素が指定する基本構造に属するモジュールの実行条件に加えることによって、経路作用要素を排除する。経路作用要素の実行条件を、指定先の基本構造のモジュールの実行条件に置くことによって、経路作用要素を削除しても、基本構造間のリンク（すなわち単語間のリンク）が成立するので、プログラム全体を１つにまとめることが可能になる。
４）こうして得られた単一化されたプログラム全体の宣言実行モジュール群（経路作用要素を含めない）に対して、トポロジカル・ソートを行って宣言実行モジュール群を最適順序に並び替える。これにより、無駄な繰返しを回避し、最少実行回数でプログラムを実行することが可能となる。

【０１３６】

なお、本発明は、上述した実施形態および実施例には限定されず、本発明の技術思想の範囲内で様々な変形が可能である。たとえば、ビジネス・メソッド、ソフトウェア開発装置、ソフトウェア開発支援装置、ソフトウェア開発管理装置、あるいはこれらの機能をコンピュータに実現するためのソフトウェア並びに該ソフトウェアを搭載した記録媒体・専用機、などとしてもそれぞれ実現することが可能である。さらに、上記で説明したように本発明は、方法としても、或いはかかる機能を備えるソフトウェアとしても、該ソフトウェアが搭載される装置・ツール（ソフトウェア自体の場合も含む）としても、さらにはシステムとしても、実現され得るのはもとよりである。

【０１３７】

例えば図１６は、本発明の異なる一実施形態として、「開発対象のソフトウェア」を生産するためのプログラム（ソフトウェア）、プログラム生成装置、プログラム処理装置、ツール（装置として或いはソフトウェアとしての双方を含む）、ソフトウェア開発装置、ソフトウェア開発支援装置、或いはソフトウェア開発管理装置のいずれかとして本発明を実施する場合に機能として備える構成を示した機能ブロック図である。

【０１３８】

全体制御部１６０１は、本プログラム（ソフトウェア）、プログラム生成装置、プログラム処理装置、ツール（装置として或いはソフトウェアとしての双方を含む）、ソフトウェア開発装置、ソフトウェア開発支援装置、或いはソフトウェア開発管理装置の全体の動作制御、タイミング制御、入出力制御等を行う機能を有しており、当該機能を持つ専用チップ、専用回路、または当該機能をコンピュータに果たさせるためのソフトウェア（ツールとしてのソフトウェアも含む）、或いは該ソフトウェアを記録した記録媒体、当該記録媒体を搭載した処理装置・管理装置・ツールとして実現される。

【０１３９】

図１７は、上記の構成を備えるプログラム（ソフトウェア）、プログラム生成装置、プログラム処理装置、ツール（装置として或いはソフトウェアとしての双方を含む）、ソフトウェア開発装置、ソフトウェア開発支援装置、或いはソフトウェア開発管理装置のいずれかとして実施される本発明の動作を示したフローチャートである。

【０１４０】

両図の説明は省略する。

【０１４１】

上記のような構成を備える本発明によれば、単語単位の宣言実行モジュールからなるプログラムにおける、出力データを生成するための宣言実行モジュールの処理を、無駄な繰り返しを排除して最少実行回数で完了し、かつ、プログラムサイズを小さくすることが可能となる。

【０１４２】

本発明の異なる実施体としての「開発対象のソフトウェア」を生産するためのプログラム（ソフトウェア）、プログラム生成装置、プログラム処理装置、ツール（装置として或いはソフトウェアとしての双方を含む）、ソフトウェア開発装置、ソフトウェア開発支援装置、ソフトウェア開発管理装置は、１つのプログラムとして実装するユーザ要件を、アクセス条件を伴う論理体ごとに、該論理体上の単語ごとに、単語名、定義式、該定義式の実行条件、入出力属性、単語の値の属性によって宣言された単語単位の宣言から、要件充足に必要な全ての、Ｌ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）のいずれかの宣言の実行単位を規定する手段と、前記に既定された、全てのＬ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）の（半）順序関係を定義する手段と、前記ステップによって定義された（半）順序関係で規定される前記Ｌ２処理、Ｌ処理、Ｉ２処理、Ｏ４処理に対してトポロジカル・ソートを行う手段と、前記第３のステップによって並び替えられた宣言の実行単位の順序列にしたがって該宣言実行単位に該当するＬｙｅｅ

方法論に基づく所与のコード列を配置する手段とを具備するように構成することもできる。

【０１４３】

本発明はさらに、上述の「開発対象のソフトウェアを生産する方法」によって生産されたソフトウェア、及び当該ソフトウェアが搭載された記録媒体或いは当該ソフトウェアが搭載された装置（ハードウェア）としても実現されるが、この場合の本発明は、１つのプログラムとして実装するユーザ要件を、アクセス条件を伴う論理体ごとに、該論理体上の単語ごとに、単語名、定義式、該定義式の実行条件、入出力属性、単語の値の属性によって宣言された単語単位の宣言から規定された、要件充足に必要な全ての、Ｌ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）の宣言の実行単位が、単語単位に宣言された要件から定義した（半）順序関係に基づいて行われるトポロジカル・ソートによって並び替えられた順序列にしたがって、該当するＬｙｅｅ方法論に基づく所与のコード列として構成されることもできる。

【０１４４】

またさらに本発明は、上述の「開発対象のソフトウェアを生産する方法」によってソフトウェアを生産するために用いられるソフトウェアコードの雛型としてのソフトウェア、及び当該ソフトウェアが搭載された記録媒体或いは当該ソフトウェアが搭載された装置（ハードウェア）としても実現される。

【０１４５】

さらに、本発明は、上述の「開発対象のソフトウェアを生産する方法」による、要件から抽出した情報（ドキュメント（紙、データ））の抽出方法として、またかかる抽出方法によって抽出された情報（ドキュメント（紙、データ））として、さらには当該抽出された情報の使用方法として、或いは、これらの情報が搭載された情報記録媒体として、または情報の抽出方法／使用方法がコード化されたソフトウェア、当該ソフトウェアが搭載された記録媒体／装置（ハードウェア）として、いずれも実現することができる関連づける情報とを備えるソフトウェア開発要件から抽出した情報として実現してもよい。

【０１４６】

本発明は当該技術分野における通常の知識を有する者にとって修正および改変が容易に数多くなし得るので、図示および記述されたものと寸分違わぬ構成および動作に本発明を限定することは望ましくないことであり、従って、あらゆる適切な改変体および等価体は本発明の範囲に含まれるものと見なされうる。前述の本発明に係る実施の具体的形態の説明および例示によって詳細に記述されたが、本願の特許請求の範囲のみならず本発明に係る開示事項全体に定義された本発明の範囲から逸脱することなしに、修正、置換、および、変更が数多く可能である。

【０１４７】

また、本願に係る発明は、その適用において、上記の記述において説明されるか、或いは、図面に示された要素の詳細な解釈及び組み合わせに限定されるものではない。本発明は、他の実施形態が可能であり、種々の方法で実用および実施可能である。また、ここで用いられた語法および用語は記述を目的とするものであり、限定的に働くものとみなされてはならない。

【０１４８】

従って、当該技術分野における通常の知識を有する者は、本開示の基調となる概念は、本発明の幾つかの目的を実施するための他の構造、方法、及び、システムを設計するための基礎として容易に利用され得ることを理解するはずである。従って、本発明の趣旨および範囲から逸脱しない限り、本願の特許請求の範囲にはそのような等価な解釈が含まれるものと見なされるものである。

【０１４９】

上記の詳細な説明では、有向グラフ表記、隣接行列算出、トポロジカル・ソート、並び替えという順序で本発明の思想を実現する方法について述べた。しかしこれらはどれも絶対不可欠な要素というものではなく、例えば、有向グラフ表記の表記を経ないで直接隣接行列算出→トポロジカル・ソート→並び替えという順序で本発明の思想を実現してもよい。

【０１５０】

さらに、有向グラフに対して、例えば幅優先探索（Ｂｒｅａｄｔｈ－Ｆｉｒｓｔ Ｓｅａｒｃｈ）、反復深化法（Ｉｔｅｒａｔｉｖｅ Ｄｅｅｐｉｎｇ）、発見的探索（Ｈｅｕｒｉｓｔｉｃ Ｓｅａｒｃｈ）、ヒル・クライミング（Ｈｉｌｌ Ｃｌｉｍｂｉｎｇ）、最適優先探索（Ｂｅｓｔ―Ｆｉｒｓｔ Ｓｅａｒｃｈ）、オイラー（Ｅｕｌｅｒ）の一筆書き、ダイクストラ（Ｄｉｊｋｓｔｒａ）法等の各種探索技法を組み合わせることで並び替えてもよい。

【０１５１】

或いは、隣接行列算出のあとを、これらの各種探索技法を組み合わせることで本発明の根本思想を実現してもよい。

【０１５２】

また、本発明に係る技術思想は、例えばコンピュータソフトウェアの自動開発装置、自動開発プログラム、自動開発プログラムを記録した記録媒体、伝送媒体、紙媒体としても、また、自動開発プログラムを登載したコンピュータ・装置、自動開発プログラムを実行するクライアント・サーバ形式等といったカテゴリーにおいても実現、利用可能であることはいうまでもない。

【０１５３】

さらに本発明は、単一プロセッサ、単一ハードディスクドライブ、及び、単一ローカルメモリを備えたコンピュータシステムに限らず、当該システムのオプションとして、任意の複数または組み合わせプロセッサ又は記憶デバイスを装備するにも適している。コンピュータシステムは、精巧な計算器、掌タイプコンピュータ、ラップトップ／ノートブックコンピュータ、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータ、及び、スーパーコンピュータ、ならびに、これらの処理システムネットワーク組合わせを含む。本発明の原理に従って作動する任意の適切な処理システムによって代替されうるし、また、これらと組合せて用いることも可能である。

【０１５４】

また、本発明に係る技術思想は、もとよりあらゆる種類のプログラミング言語に対応可能である。さらに本発明に係る技術思想は、あらゆる種類・機能のアプリケーションソフトウェアに対しても適用可能である。

【０１５５】

またさらに本願発明は、その技術思想の同一及び等価に及ぶ範囲において様々な変形、追加、置換、拡大、縮小等を許容するものである。また、本願発明を用いて生産されるソフトウェアが、その２次的生産品に登載されて商品化された場合であっても、本願発明の価値は何ら減ずるものではない。

【産業上の利用可能性】

【０１５６】

上記で規定される本発明では、繰返しをなくす前処理を自動で行い、こうして得られた前処理済の単語単位のプログラムをもとにＬｙｅｅ（登録商標）方法論により自動的に目的プログラム生成を行う。つまり、ユーザ要件の洗練化（整列）から目的プログラムの生成に至るまで自動化することが可能となる。これにより、ソフトウェア生産の大幅な効率向上、生産性向上、品質向上等、ソフトウェア産業上に大きな効果をもたらす。

【図面の簡単な説明】

【０１５７】

【図１】本発明の一実施形態に係るセルの概念を説明するための概念図である。

【図２】本発明の一実施形態に係る例１のシステムの画面の説明図である

【図３】本発明の一実施形態に係る例１のシステムの単語を基本構図単位に示した説明図である。

【図４】本発明の一実施形態に係る例１のシステムの単語の関係を表わした有向グ

ラフである。

【図５】本発明の一実施形態に係る例１のシステム全体を１つの隣接行列Ｆで表わす過程を説明するための図である。

【図６】本発明の一実施形態に係る隣接行列Ｆがトポロジカルソート済みであることを説明するための図である。

【図７】本発明の一実施形態に係る例１のシステムの構造から経路作用要素を削除したときの、単語の関係を表わした有向グラフである。

【図８】本発明の一実施形態に係る例１のシステムの構造から経路作用要素を削除したとき、システム全体を１つの隣接行列Ｆ'で表わす過程を説明するための図である。

【図９】本発明の一実施形態に係る隣接行列Ｆ'がトポロジカルソート済みであることを説明するための図である。

【図１０】本発明の一実施形態に係る例２を有向グラフである。

【図１１】本発明の一実施形態に係る例２の「初期画面」を表した図である。

【図１２】本発明の一実施形態に係る例２の「生徒登録画面」を表した図である。

【図１３】本発明の一実施形態に係る例２の「成績管理画面」を表した図である。

【図１４】本発明の一実施形態に係る例２の成績管理プログラムの要件、および、このプログラムを、従来の基本構造に分割した構造にする場合の構造を表わした処理経路図である。

【図１５】本発明の一実施形態に係る統合型新プログラムコードの一部である。

【図１６】本発明の異なる一実施形態として、「開発対象のソフトウェア」を生産するためのプログラム（ソフトウェア）、プログラム生成装置、プログラム処理装置、ツール（装置として或いはソフトウェアとしての双方を含む）、ソフトウェア開発装置、ソフトウェア開発支援装置、或いはソフトウェア開発管理装置のいずれかとして本発明を実施する場合に機能として備える構成を示した機能ブロック図である。

【図１７】本発明の一実施形態に係る上記の構成を備えるプログラム（ソフトウェア）、プログラム生成装置、プログラム処理装置、ツール（装置として或いはソフトウェアとしての双方を含む）、ソフトウェア開発装置、ソフトウェア開発支援装置、或いはソフトウェア開発管理装置のいずれかとして実施される本発明の動作を示したフローチャートである。

【符号の説明】

【０１５８】

１０１　同期範囲

１１０１　基本構造ＢＳ１（入力）

１１０２　基本構造ＢＳ２

１１０３　基本構造ＢＳ３

１１０４　基本構造ＢＳ１（出力）

１２０１　隣接行列Ｆ１’

１２０２　隣接行列Ｆ２’

１２０３　隣接行列Ｆ３’

１２０４　結合隣接行列ＦＣ１’

１２０５　結合隣接行列ＦＣ２’

【書類名】請求の範囲

【請求項１】

１つのプログラムとして実装するユーザ要件を、アクセス条件を伴う論理体ごとに、該論理体上の単語ごとに、単語名、定義式、該定義式の実行条件、入出力属性、単語の値の属性によって宣言された単語単位の宣言から、要件充足に必要な全ての、Ｌ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）のいずれかの宣言の実行単位を規定する第１のステップと、

前記に規定された、全てのＬ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）の（半）順序関係を定義する第２のステップと、

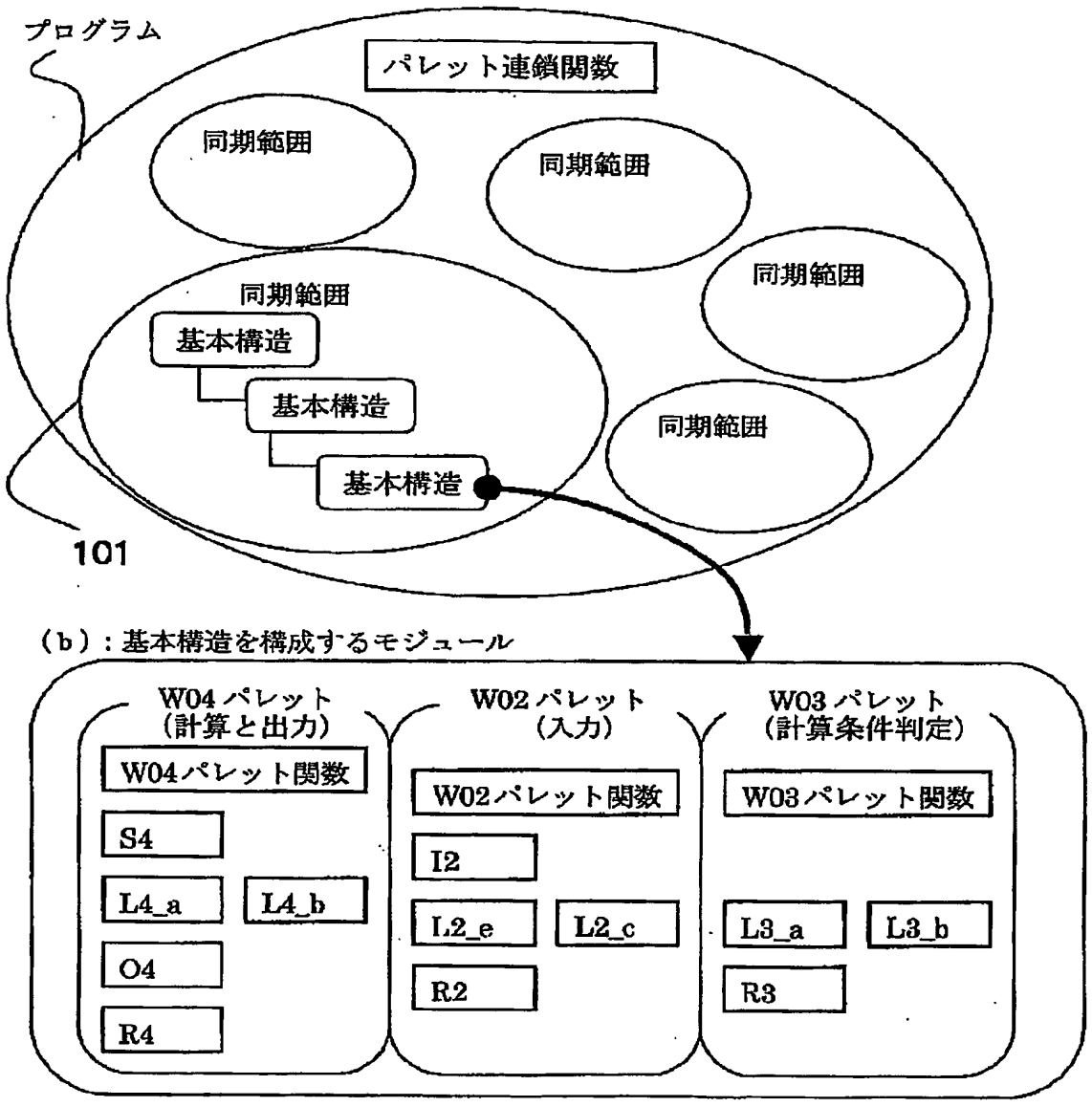
前記ステップによって定義された（半）順序関係で規定される前記Ｌ２処理、Ｌ処理、Ｉ２処理、Ｏ４処理に対してトポロジカル・ソートを行う第３のステップと、

前記第３のステップによって並び替えられた宣言の実行単位の順序列にしたがって該宣言実行単位に該当するＬｙｅｅ方法論に基づく所与のコード列を配置する第４のステップと

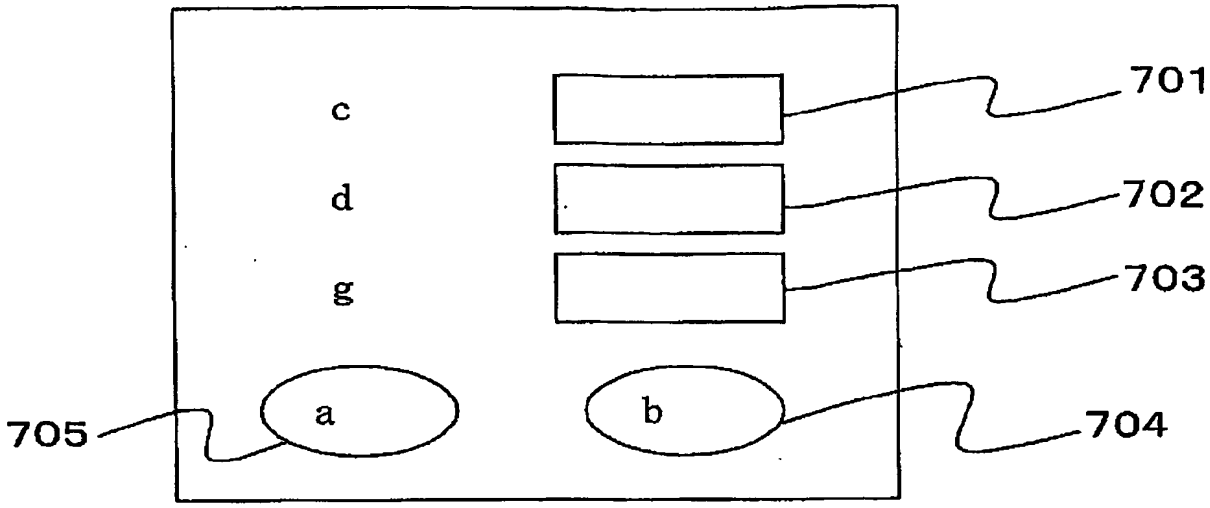
を具備することを特徴とするソフトウェア生成方法。

【書類名】図面

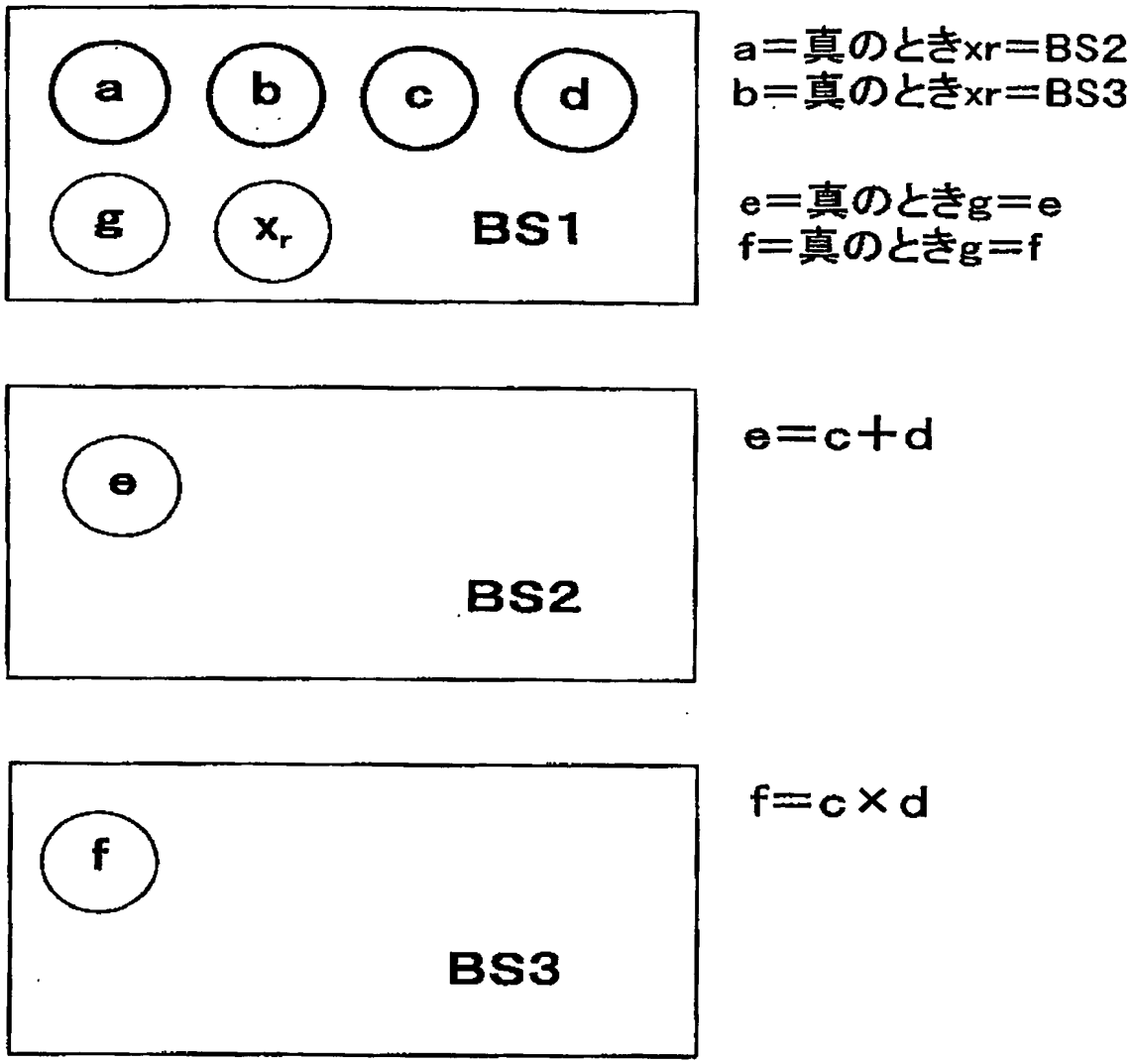
【図１】


（ａ）：Ｌｙｅｅプログラムの分割単位
プログラム
パレット連鎖関数
同期範囲
同期範囲
同期範囲
同期範囲
同期範囲
基本構造
基本構造
基本構造
101
（ｂ）：基本構造を構成するモジュール
W04 パレット
（計算と出力）
W04パレット関数
S4
L4_a
L4_b
O4
R4
W02 パレット
（入力）
W02パレット関数
I2
L2_e
L2_c
R2
W03 パレット
（計算条件判定）
W03パレット関数
L3_a
L3_b
R3

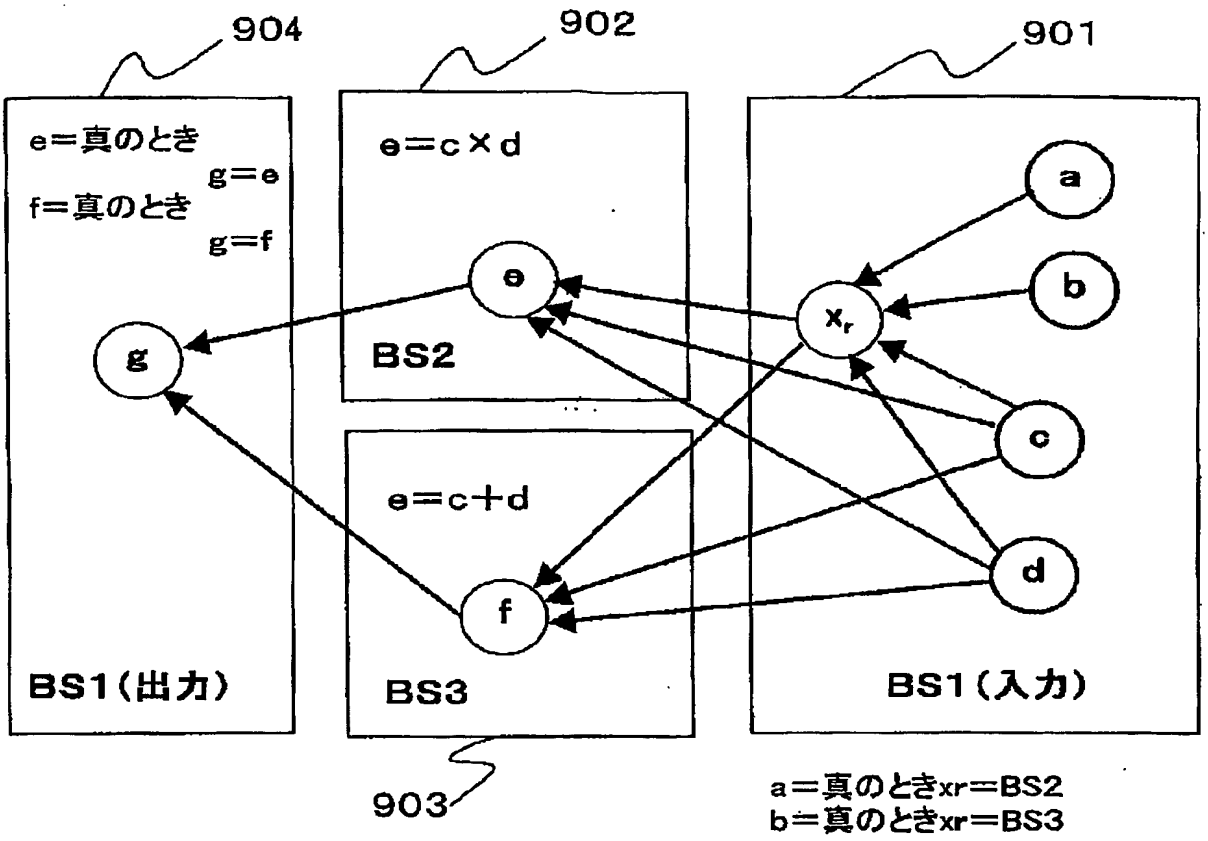
【図２】



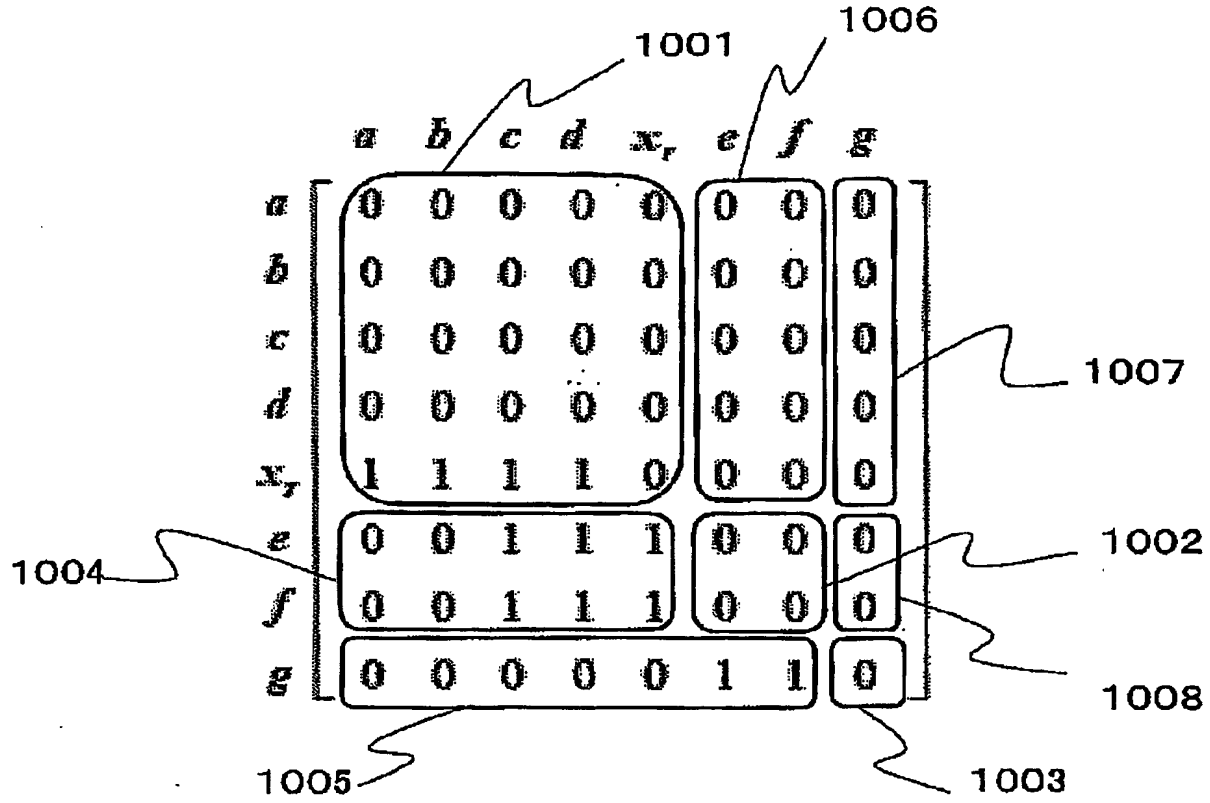
【図３】


a
b
c
d
g
x_r
BS1
a＝真のときxr＝BS2
b＝真のときxr＝BS3
e＝真のときg＝e
f＝真のときg＝f
e
BS2
e＝c＋d
f
BS3
f＝c×d

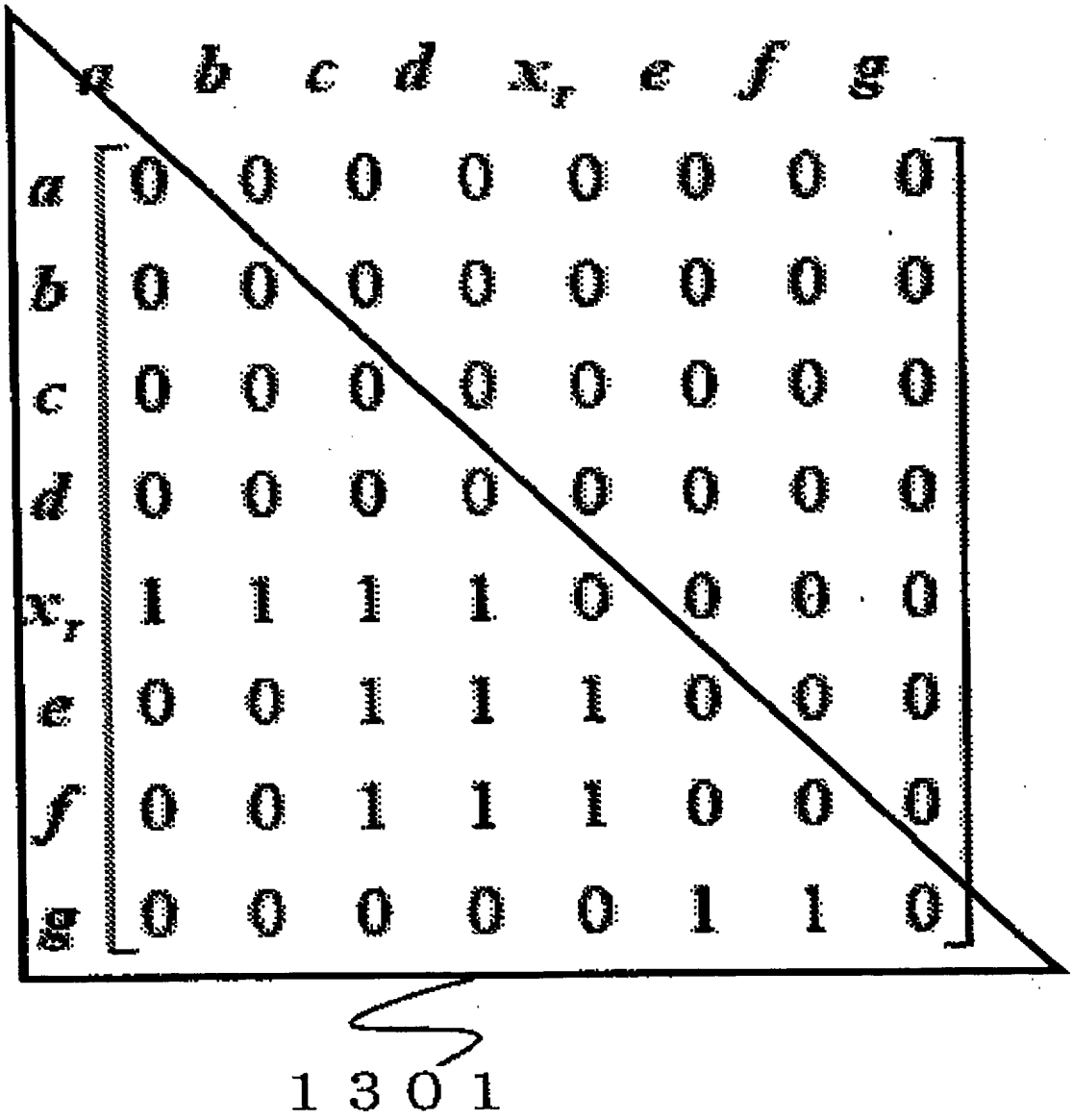
【図４】


904
902
901
e＝真のとき
g＝e
f＝真のとき
g＝f
e＝c×d
a
b
e
x_r
g
BS2
c
e＝c＋d
d
f
BS1（出力）
BS3
BS1（入力）
903
a＝真のときxr＝BS2
b＝真のときxr＝BS3

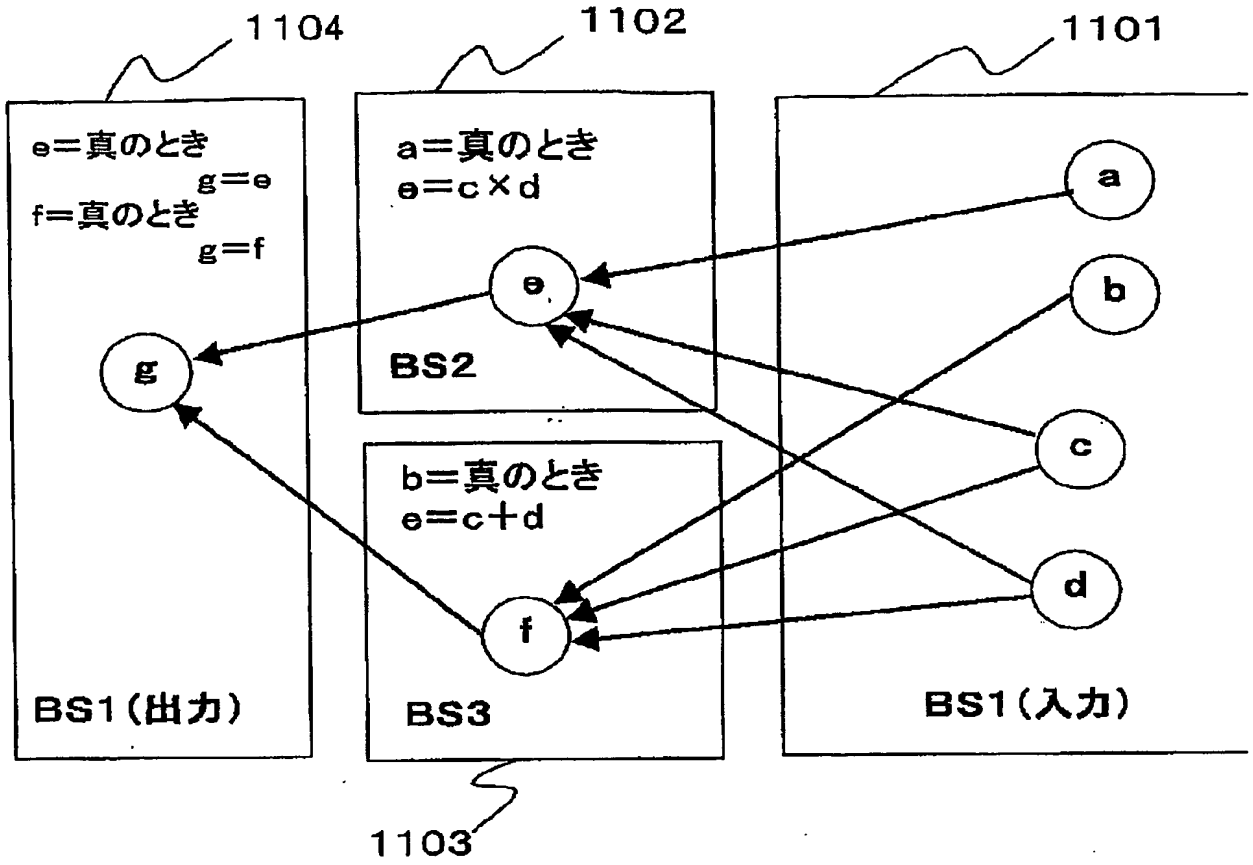
【図５】


1001
1006
a b c d x_r e f g
a 0 0 0 0 0 0 0 0
b 0 0 0 0 0 0 0 0
c 0 0 0 0 0 0 0 0
d 0 0 0 0 0 0 0 0
x_r 1 1 1 1 0 0 0 0
e 0 0 1 1 1 0 0 0
f 0 0 1 1 1 0 0 0
g 0 0 0 0 0 1 1 0
1007
1004
1002
1008
1005
1003

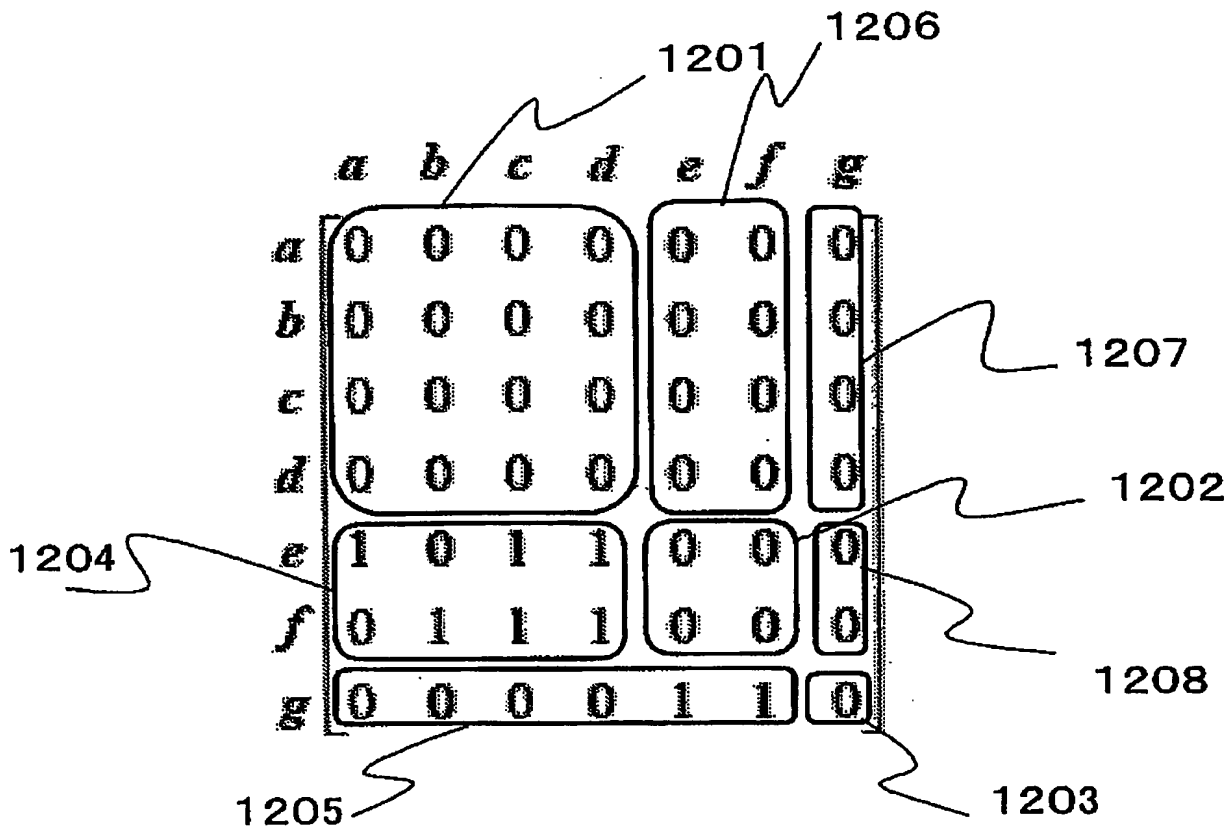
【図６】


a b c d x_r e f g
a 0 0 0 0 0 0 0 0
b 0 0 0 0 0 0 0 0
c 0 0 0 0 0 0 0 0
d 0 0 0 0 0 0 0 0
x_r 1 1 1 1 0 0 0 0
e 0 0 1 1 1 0 0 0
f 0 0 1 1 1 0 0 0
g 0 0 0 0 0 1 1 0
1301

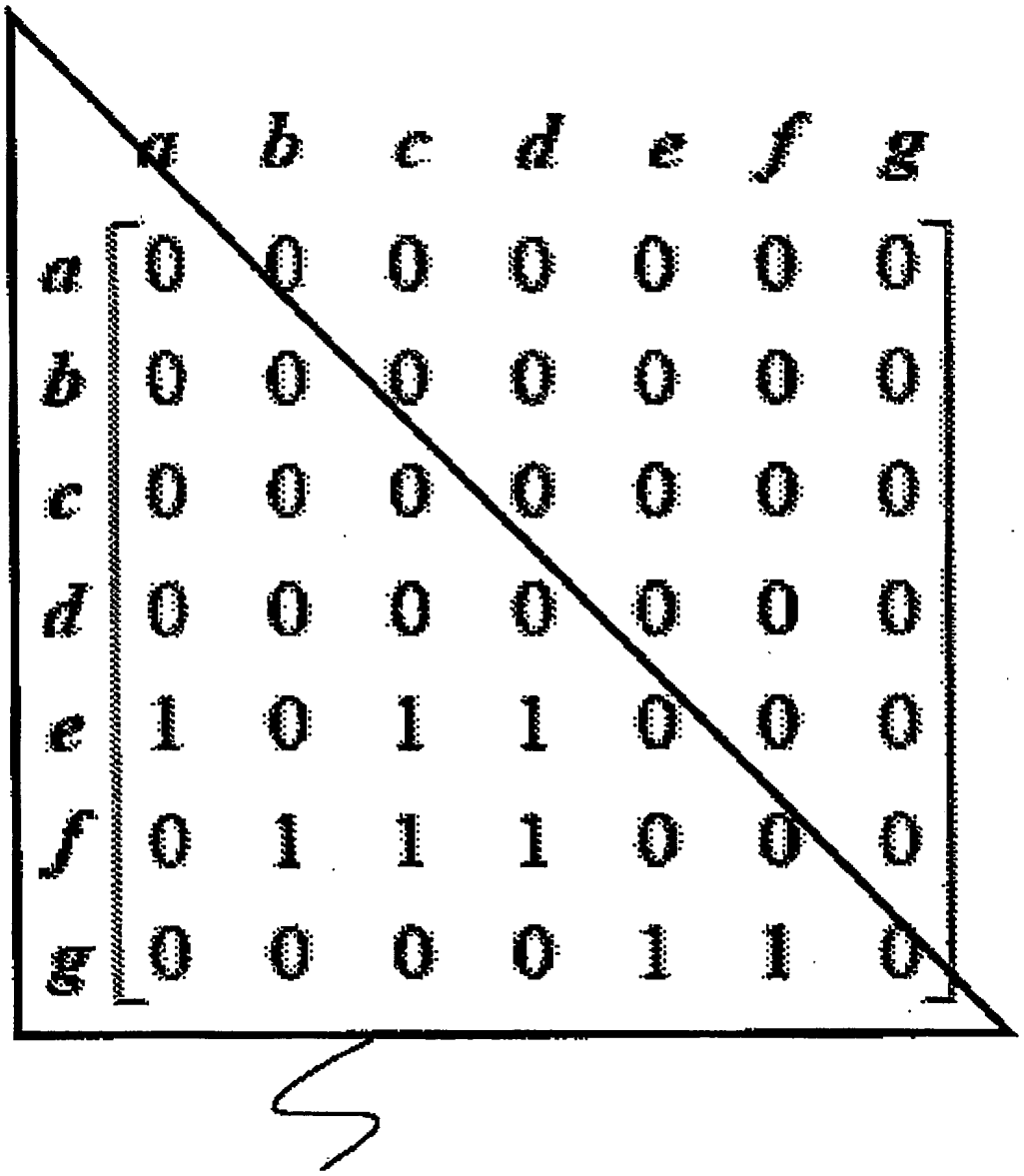
【図７】


1104
1102
1101
e＝真のとき
g＝e
f＝真のとき
g＝f
a＝真のとき
e＝c×d
a
b
e
g
BS2
c
b＝真のとき
e＝c＋d
d
f
BS1（出力）
BS3
BS1（入力）
1103

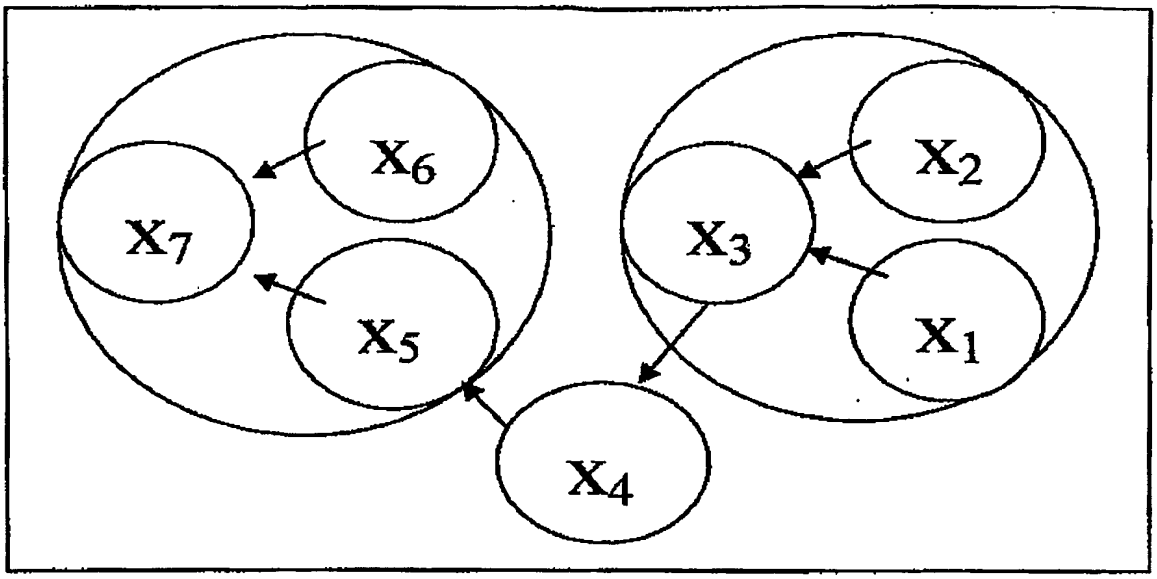
【図８】


1201
1206
a b c d e f g
a 0 0 0 0 0 0 0
b 0 0 0 0 0 0 0
c 0 0 0 0 0 0 0
d 0 0 0 0 0 0 0
e 1 0 1 1 0 0 0
f 0 1 1 1 0 0 0
g 0 0 0 0 1 1 0
1207
1202
1204
1208
1205
1203

【図９】

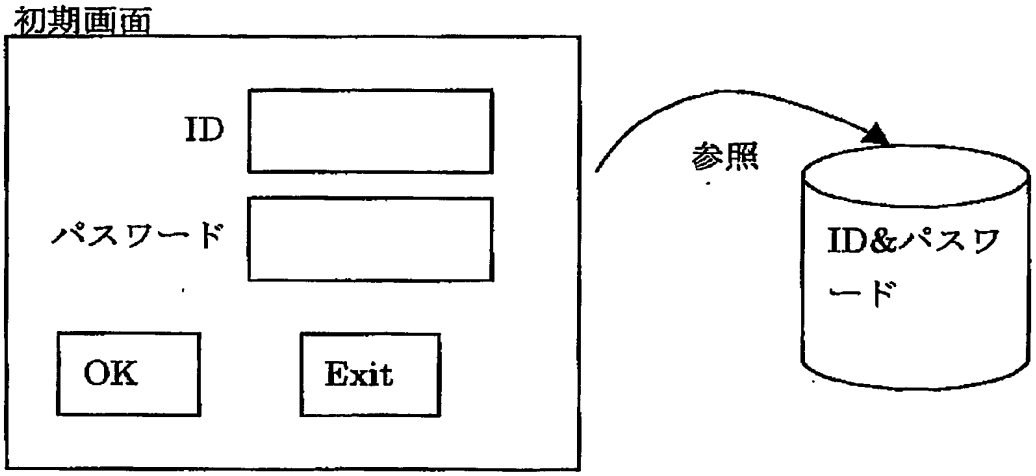

a b c d e f g
a 0 0 0 0 0 0 0
b 0 0 0 0 0 0 0
c 0 0 0 0 0 0 0
d 0 0 0 0 0 0 0
e 1 0 1 1 0 0 0
f 0 1 1 1 0 0 0
g 0 0 0 0 1 1 0
1601

【図１０】

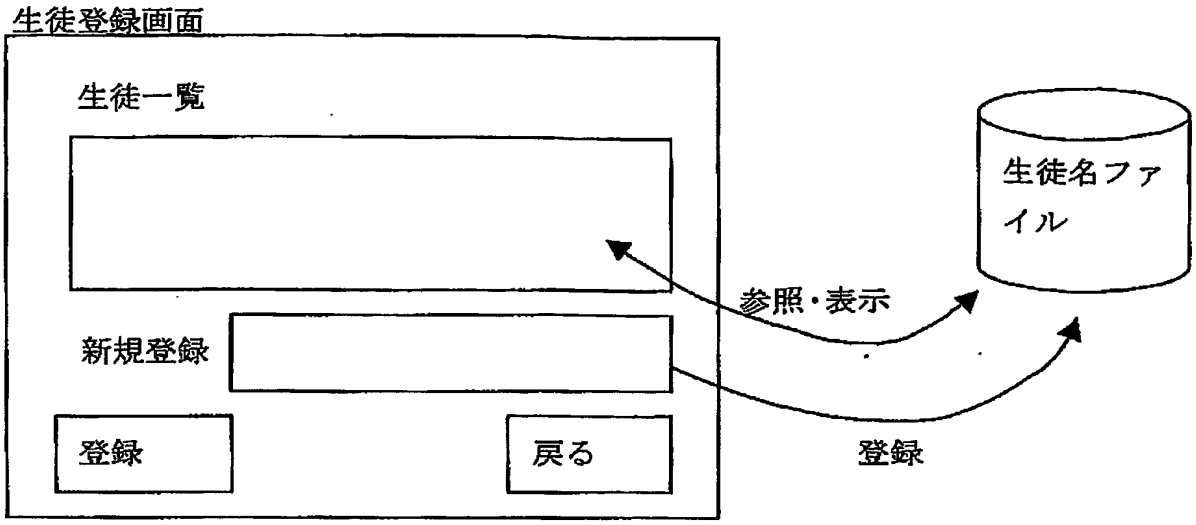


集計の有効グラフ

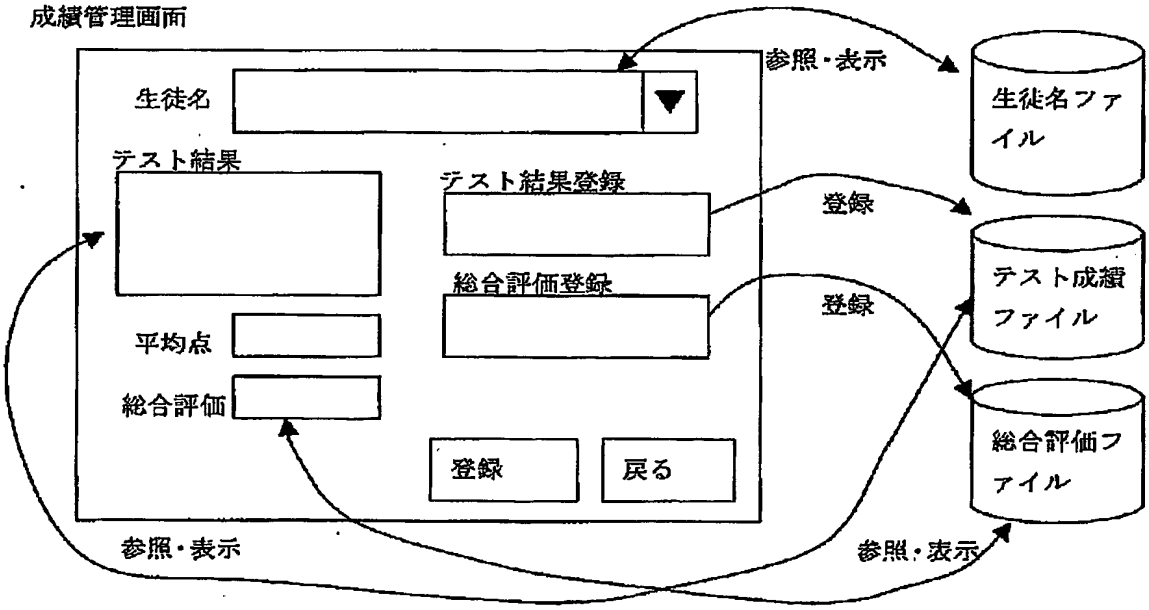
【図１１】



【図１２】

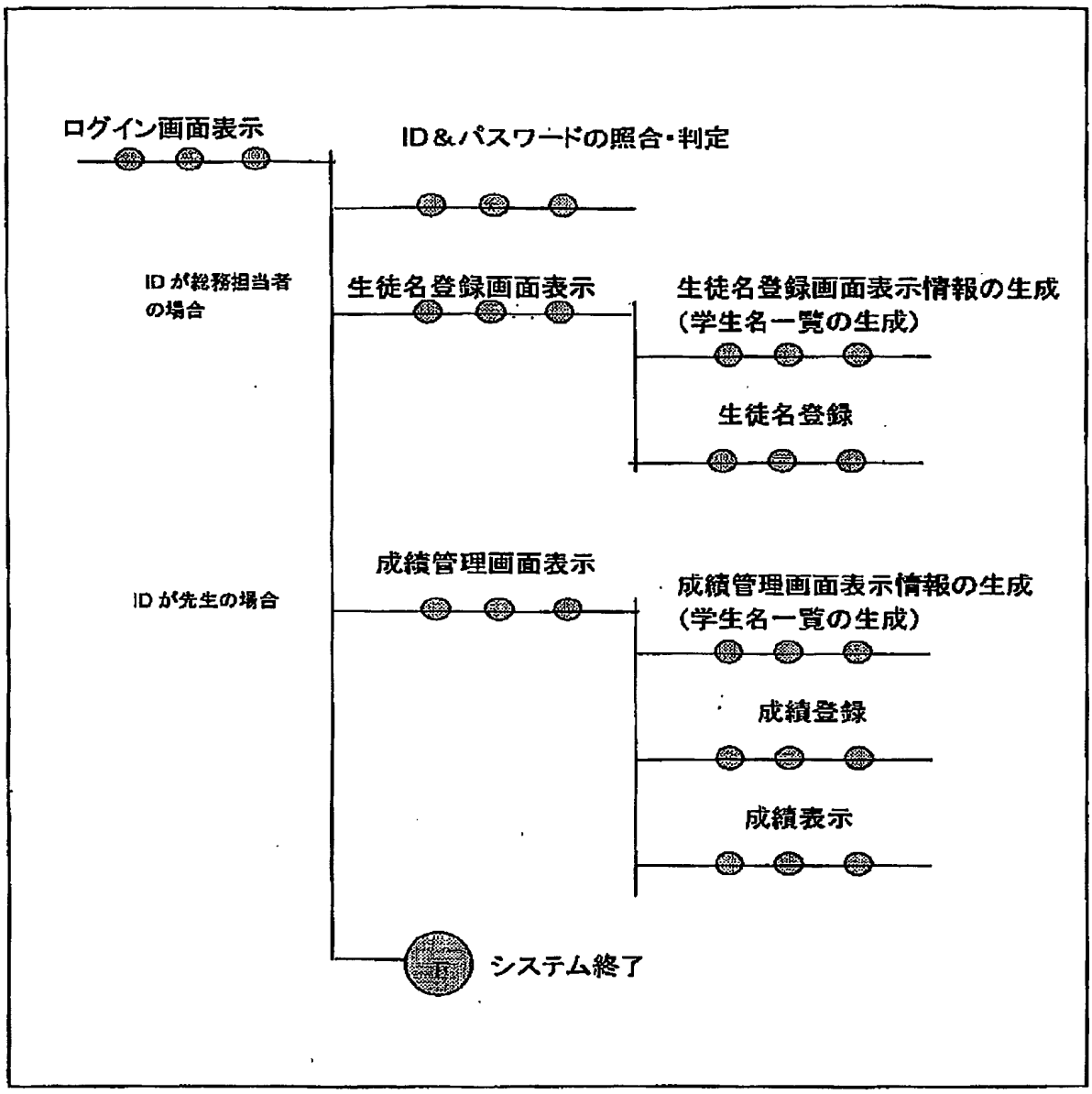

生徒登録画面
生徒一覧
新規登録
登録
戻る
生徒名ファイル
参照・表示
登録

【図１３】


成績管理画面
生徒名
テスト結果
テスト結果登録
総合評価登録
平均点
総合評価
登録
戻る
参照・表示
登録
参照・表示
参照・表示
生徒名ファイル
テスト成績ファイル
総合評価ファイル

【図１４】

成績管理プログラムの処理経路図

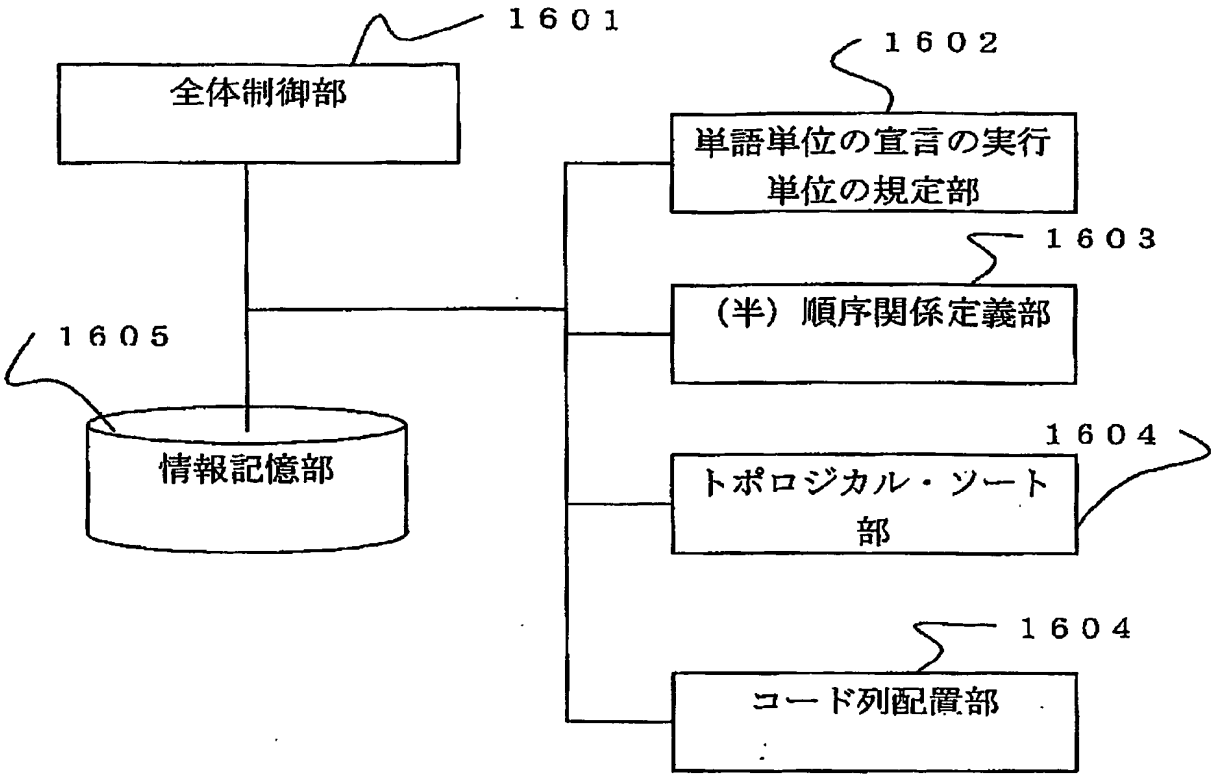


【図１５】

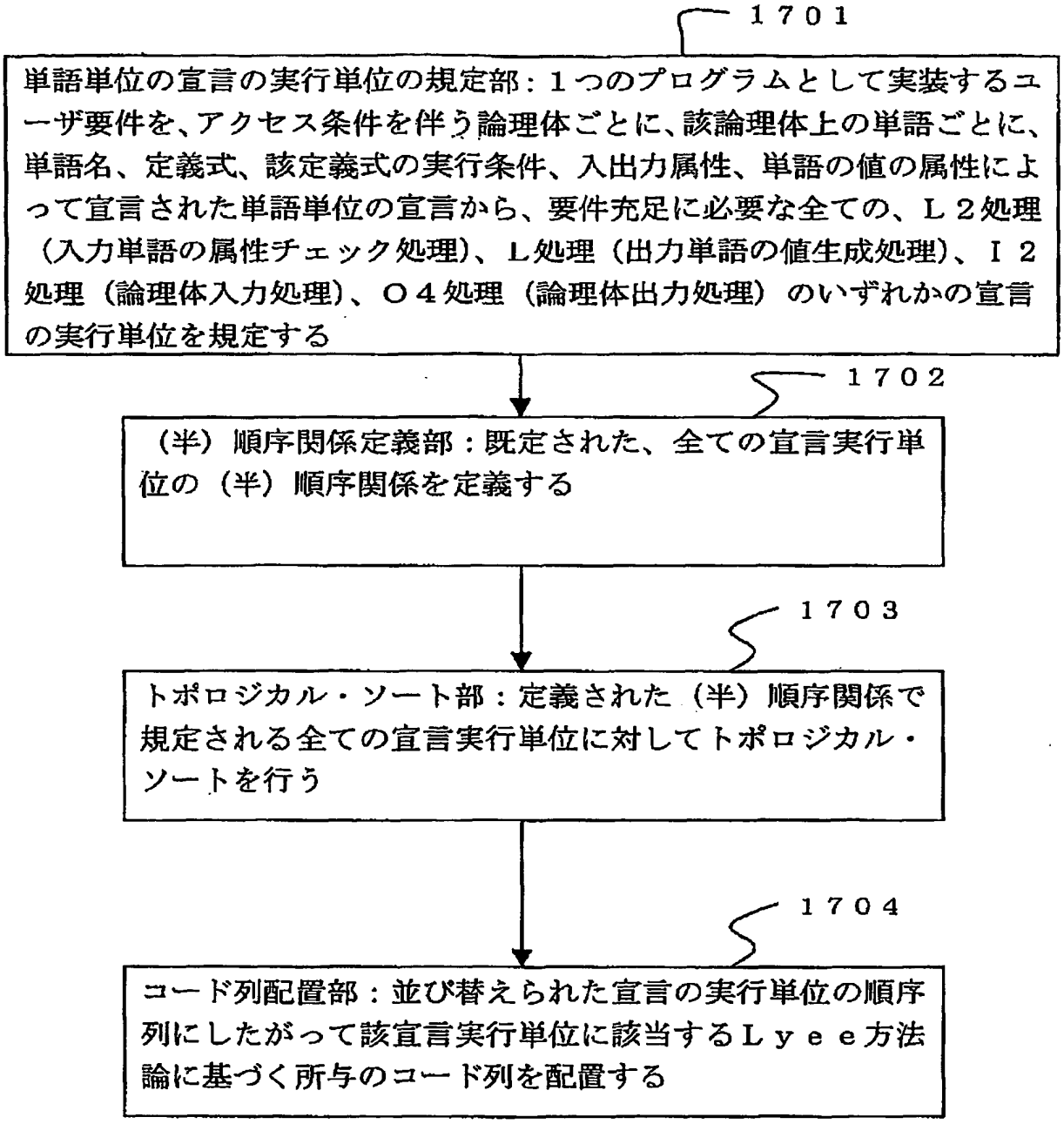
```
1   // S1
2   // S1W04
3   W04_PS_PBOXRV01_S1I_RV01_SO;                    // clear input flag
4   W04_PS_PCR1S1I_S1I_SO;                          // clear input area
5   // S1W04 e
6   // FALSE
7   if (W02_S1I.cmdOK == FALSE)                     // shared variable from route vector
8   {                                               //
9   // S1W02
10   W02_PI_PRD1RV01_S1I_RV01_SO;                   // input from screen
11   strncpy ( W02_S1I.UserID,S1_Buff.UserID, size of (W02_S1I.UserID) );      // input value
12   strncpy ( W02_S1I.Password,S1_Buff.Password, size of (W02_S1I.Password) );  // input value
13   W02_S1I.cmdOK = S1_Buff.cmdOK;                 // input function button shared variable
14   W02_S1I.cmdExit = S1_Buff.cmdExit;             // input function button shared variable
15   }                                              // these word are only definition
16  // S1W02 e
17  // FALSE e
18  // Exit
19  // S1W03
20 . if ( W02_S1I.cmdExit == TRUE)                  // shared variable from route vector
21  {                                               //
22  //      W03_PN_PNTES1W03_SO;    /* S1-W03 */   // eliminated route vector
23
```

プログラムの一部

【図１６】


１６０１
全体制御部
１６０２
単語単位の宣言の実行単位の規定部
１６０３
（半）順序関係定義部
１６０５
情報記憶部
１６０４
トポロジカル・ソート部
１６０４
コード列配置部

【図１７】


1701
単語単位の宣言の実行単位の規定部：１つのプログラムとして実装するユーザ要件を、アクセス条件を伴う論理体ごとに、該論理体上の単語ごとに、単語名、定義式、該定義式の実行条件、入出力属性、単語の値の属性によって宣言された単語単位の宣言から、要件充足に必要な全ての、Ｌ２処理（入力単語の属性チェック処理）、Ｌ処理（出力単語の値生成処理）、Ｉ２処理（論理体入力処理）、Ｏ４処理（論理体出力処理）のいずれかの宣言の実行単位を規定する
1702
（半）順序関係定義部：既定された、全ての宣言実行単位の（半）順序関係を定義する
1703
トポロジカル・ソート部：定義された（半）順序関係で規定される全ての宣言実行単位に対してトポロジカル・ソートを行う
1704
コード列配置部：並び替えられた宣言の実行単位の順序列にしたがって該宣言実行単位に該当するＬｙｅｅ方法論に基づく所与のコード列を配置する